



Universidad  
Carlos III de Madrid

**Escuela Politécnica Superior**  
**Departamento de Ingeniería Mecánica**

## **PROYECTO DE FIN DE CARRERA**

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: MECÁNICA

# **Instalación de Puertas de Andén en una Estación de Metro Existente**

Autor: Carlos Manuel Bugella Butragueño

Tutor: Alejandro Quesada González

## TABLA DE CONTENIDOS

Sección	Asunto	Página
	<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>1</b>
	<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>8</b>
	<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
	<b>ABREVIATURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>TIPOS DE PUERTAS DE ANDÉN .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL EN REDES DE METRO .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Protección puntual .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>Protección continua .....</b>	<b>19</b>
4.2.1	Sistema ATP .....	19
<b>4.3</b>	<b>Conducción automática .....</b>	<b>20</b>
4.3.1	ATO .....	20
4.3.1.1	Ventajas del ATO .....	20
<b>4.4</b>	<b>Circulación sin conductor.....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN FERROVIARIO .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Breve historia sobre los sistemas de control de trenes .....</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Sistema CBTC.....</b>	<b>24</b>
5.2.1	Descripción del sistema .....	24
5.2.1.1	Equipamiento ATS .....	25
5.2.1.2	Equipamiento de vía .....	25
5.2.1.3	Equipo embarcado .....	25
5.2.1.4	Equipo para la comunicación de datos.....	25
5.2.1.5	Funciones de control del tren .....	26
5.2.1.5.1	ATP .....	26

5.2.1.5.1.1 Protecciones básicas .....	26
5.2.1.5.1.2 Protecciones adicionales .....	26
5.2.1.5.2 ATO .....	27
5.2.1.5.3 ATS .....	28
<b>6 ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....</b>	<b>30</b>
<b>6.1 Características generales .....</b>	<b>30</b>
<b>6.2 Arquitectura del equipamiento PSD .....</b>	<b>31</b>
<b>6.3 Funcionalidad .....</b>	<b>32</b>
<b>6.4 Interfaz mecánico .....</b>	<b>34</b>
<b>6.5 Interfaz eléctrico PSD / CBTC .....</b>	<b>34</b>
<b>7 DESCRIPCIÓN MECÁNICA DE LAS PUERTAS DE ANDÉN.....</b>	<b>35</b>
<b>7.1 Visión general .....</b>	<b>35</b>
<b>7.2 Concepto de tolerancia .....</b>	<b>41</b>
<b>7.3 Estructura principal .....</b>	<b>42</b>
<b>7.4 Módulo PDM. Puertas deslizantes motorizadas .....</b>	<b>44</b>
<b>7.5 Módulo PEE. Puertas batientes .....</b>	<b>47</b>
<b>7.6 Módulo PFX. Panel de vidrio.....</b>	<b>49</b>
<b>7.7 Modulo PFP. Puerta de final de plataforma .....</b>	<b>50</b>
<b>7.8 Mecanismo de accionamiento de las PDM .....</b>	<b>53</b>
7.8.1 Unidad de accionamiento .....	54
7.8.2 Unidad guía.....	55
<b>7.9 Caja superior.....</b>	<b>56</b>
<b>7.10 Refuerzo estructural.....</b>	<b>57</b>
<b>7.11 Suelo de la estructura .....</b>	<b>57</b>
<b>7.12 Cuadro de control local (LCB) .....</b>	<b>58</b>
7.12.1 Modo aislado .....	58
7.12.2 Modo manual.....	58
7.12.3 Modo mantenimiento .....	59

<b>7.13</b>	<b>Unidad prototipo</b>	<b>60</b>
<b>8</b>	<b>PRUEBAS DE VALIDACIÓN MECÁNICA</b>	<b>61</b>
<b>8.1</b>	<b>Fuerzas y presiones</b>	<b>61</b>
8.1.1	Test de choque	61
8.1.2	Test de fatiga	62
8.1.3	Test de carga	63
8.1.4	Test de presión	63
<b>9</b>	<b>INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA</b>	<b>64</b>
<b>9.1</b>	<b>Panel de control Manual (PCM)</b>	<b>64</b>
<b>9.2</b>	<b>Panel de control central (PCC)</b>	<b>66</b>
<b>10</b>	<b>FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA</b>	<b>67</b>
<b>10.1</b>	<b>Vista general del sistema</b>	<b>67</b>
<b>10.2</b>	<b>Características del sistema</b>	<b>69</b>
10.2.1	Características relacionadas con la operación y el intercambio de pasajeros	69
10.2.2	Puertas Deslizantes Motorizadas (PDM)	69
10.2.2.1	Apertura de la puerta	71
10.2.2.1.1	Desbloqueo de la puerta	71
10.2.2.1.2	Permiso para abrir la puerta	71
10.2.2.1.3	Proceso de apertura	72
10.2.2.1.4	Obstáculo en la posición de apertura	72
10.2.2.2	Cierre de la puerta	73
10.2.2.2.1	Permiso para el cierre de la puerta	73
10.2.2.2.2	Proceso de activación del cierre	73
10.2.2.2.3	Cierre	73
10.2.2.2.4	Bloqueo de la puerta	73
10.2.2.2.5	Obstáculo en el proceso de cierre	73
10.2.2.3	Apertura de emergencia	74
10.2.2.4	Led de estado y señal sonora	74

10.2.3	Puertas de Emergencia (PEE) .....	75
10.2.4	Puertas de final de plataforma (PFP) .....	76
<b>10.3</b>	<b>Numeración de las puertas PDM .....</b>	<b>76</b>
<b>11</b>	<b>DISEÑO DE INTERFAZ ENTRE CBTC Y PSD. ....</b>	<b>77</b>
11.1	Necesidades para el control de las puertas.....	77
11.2	Señales de control.....	78
11.3	Interfaz vital.....	80
11.4	Señales vitales enviadas por el CBTC hacia el sistema PSD .....	80
11.5	Señales vitales enviadas por el sistema PSD hacia el CBTC .....	81
11.6	Generación de las señales vitales del sistema.....	83
11.6.1	Puertas cerradas y bloqueadas .....	83
11.6.2	Señal de activación de puertas.....	84
11.7	Interfaz vital del sistema. Vista general.....	85
11.8	Señales no vitales enviadas por el CBTC hacia el sistema PSD .....	86
11.9	Señales no vitales enviadas por el sistema PSD hacia el CBTC .....	88
11.10	Generación de las señales no vitales del sistema .....	88
11.10.1	Apertura de las puertas (DOC y DOCN) .....	88
11.10.2	Tren en la plataforma (TIP) .....	89
11.10.3	Solicitud para inhibir una puerta de andén (DIR) .....	89
11.10.4	Puerta fuera de servicio (DNS) .....	89
11.10.5	Detección de obstáculo (DRR).....	89
11.10.6	Puertas cerradas (DCS).....	89
11.10.7	Puertas abiertas (FOS) .....	89
11.10.8	Puerta de andén manualmente bloqueada (LOS) .....	90
11.11	Interfaz no vital del sistema. Vista general.....	90
<b>12</b>	<b>MODO DE FUNCIONAMIENTO DEGRADADO .....</b>	<b>91</b>
12.1	Pérdida de la conexión de red entre CBTC y PSD.....	91
12.2	Pérdida del sistema CBTC .....	91

<b>13</b>	<b>SECUENCIA Y TIEMPOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PUERTAS .....</b>	<b>92</b>
<b>13.1</b>	<b>Funcionamiento normal .....</b>	<b>92</b>
<b>13.2</b>	<b>Otros ejemplos de funcionamiento .....</b>	<b>94</b>
<b>14</b>	<b>SEGURIDAD DEL SISTEMA .....</b>	<b>97</b>
<b>14.1</b>	<b>Situación 1: Un tren llega a la estación.....</b>	<b>97</b>
<b>14.2</b>	<b>Situación 2: Un tren inicia la marcha .....</b>	<b>97</b>
<b>15</b>	<b>PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>15.1</b>	<b>Suministro eléctrico .....</b>	<b>99</b>
15.1.1	Suministro de Energía Público.....	99
15.1.2	Alimentación de energía de la vía férrea.....	99
<b>15.2</b>	<b>Principio de funcionamiento del sistema.....</b>	<b>102</b>
<b>15.3</b>	<b>Medidas contra choques eléctricos .....</b>	<b>103</b>
15.3.1	Riesgo causado por la catenaria.....	103
15.3.2	Riesgo causado por el suministro de energía pública .....	103
15.3.3	Riesgo causado por corrientes de fuga debidas a la propulsión .....	103
<b>15.4</b>	<b>Características del dispositivo de protección contra sobretensiones (OVPD) ...</b>	<b>104</b>
<b>16</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE MONTAJE .....</b>	<b>105</b>
<b>16.1</b>	<b>Estudio de la plataforma .....</b>	<b>106</b>
<b>16.2</b>	<b>Generación de coordenadas para la instalación .....</b>	<b>106</b>
<b>16.3</b>	<b>Localización y perforación de los agujeros de fijación .....</b>	<b>106</b>
<b>16.4</b>	<b>Rebaje del suelo .....</b>	<b>106</b>
<b>16.5</b>	<b>Instalación del anclaje para el tornillo .....</b>	<b>107</b>
<b>16.6</b>	<b>Instalación del dispositivo OVPD .....</b>	<b>108</b>
<b>16.7</b>	<b>Instalación de los módulos PSD.....</b>	<b>109</b>
<b>16.8</b>	<b>Instalación de las líneas de energía y control .....</b>	<b>111</b>
<b>16.9</b>	<b>Instalación de la caja superior .....</b>	<b>111</b>
<b>17</b>	<b>SISTEMA AUXILIAR BACK UP.....</b>	<b>112</b>
<b>17.1</b>	<b>Condiciones generales.....</b>	<b>112</b>

<b>17.2 Descripción del hardware .....</b>	<b>113</b>
17.2.1 Interruptores de entrada a la estación.....	113
17.2.2 Sensores de ruedas.....	113
17.2.3 Sistema óptico .....	114
17.2.4 Unidad electrónica de procesamiento .....	114
17.2.5 Módulo de control central.....	114
<b>17.3 Descripción general de funcionamiento .....</b>	<b>115</b>
<b>18 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA PSD CON EL SISTEMA CBTC.....</b>	<b>116</b>
18.1 Fase de instalación.....	116
18.2 Pruebas de integración .....	117
18.3 Comisionado de las PSD.....	117
18.4 Operación normal con el sistema CBTC .....	117
<b>19 PUESTA EN SERVICIO SIN UN SISTEMA CBTC.....</b>	<b>119</b>
19.1 Fase de instalación.....	119
19.2 Pruebas de integración .....	119
19.3 Comisionado de las PSD.....	120
19.4 Operación con el sistema AUX <sub>BK</sub> .....	120
<b>20 PRESUPUESTO GENERAL .....</b>	<b>121</b>
20.1 Primera estación.....	121
20.1.1 Resumen de costes en Material.....	121
20.1.2 Resumen costes Transporte.....	122
20.1.3 Resumen costes Diseño del prototipo.....	122
20.1.4 Resumen costes Estructura prototipo .....	123
20.1.5 Resumen costes Instalación / mano de obra .....	123
20.1.6 Resumen costes Desplazamiento.....	124
20.1.7 Resumen costes Impuestos.....	124
20.1.8 Resumen Costes Organización .....	124
20.1.9 Total costes instalación en primera estación.....	125

---

<b>20.2</b>	<b>Costes resto de estaciones.....</b>	<b>126</b>
20.2.1	Resumen costes de Material.....	126
20.2.2	Resumen costes de Transporte .....	126
20.2.3	Resumen costes de diseño resto de estaciones .....	127
20.2.4	Resumen costes Instalación / mano de obra .....	127
20.2.5	Resumen costes Desplazamiento.....	128
20.2.6	Resumen costes Repuestos .....	128
20.2.7	Resumen costes Impuestos.....	128
20.2.8	Resumen Costes Organización .....	129
20.2.9	Total costes instalación en siguientes estaciones .....	129
<b>21</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>130</b>
<b>22</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>133</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Función según el estado del LCB .....	70
Tabla 2: Condiciones para Abrir y Cerrar las puertas en escenario normal .....	87
Tabla 3: Condiciones para Abrir y Cerrar las puertas en escenario degradado .....	87
Tabla 4: Valores por defecto de las señales de la red de datos en caso de fallo .....	91
Tabla 5: Costes primera estación .....	125
Tabla 6: Costes resto estaciones .....	129

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Platform Screen Doors .....	16
Figura 2: Platform Edge Door .....	16
Figura 3: Platform Safety Gates .....	17
Figura 4: Componentes principales .....	30
Figura 5: Ejemplo de puesta a tierra.....	31
Figura 6: Arquitectura del sistema .....	31
Figura 7: Diagrama de flujo de las PSD.....	33
Figura 8: Esquema de instalación. Vista frontal.....	35
Figura 9: Módulos PSD principales como unidades individuales .....	37
Figura 10: Disposición de las PSD en el lado izquierdo de la plataforma .....	37
Figura 11: Disposición de las PSD en el lado derecho de la plataforma .....	38
Figura 12: Disposición de las PSD en el área de parada de los trenes.....	38
Figura 13: Disposición de las PSD en la zona de acople.....	39
Figura 14: Vista de la distancia al centro de la vía en estaciones rectas .....	40
Figura 15: Vista de la distancia al centro de la vía en estaciones curvas.....	40
Figura 16: Compensación de tolerancias por detrás de los postes verticales .....	42
Figura 17: Estructura de columnas y vigas.....	43
Figura 18: Construcción inferior.....	43
Figura 19: Puertas deslizantes PDM .....	44
Figura 20: Apertura de emergencia puerta PDM .....	46
Figura 21: Puerta PEE.....	47
Figura 22: Apertura de emergencia puerta PEE .....	48
Figura 23: Panel de vidrio PFX.....	49
Figura 24: Puerta PFP .....	51
Figura 25: Puerta de emergencia PFP .....	52
Figura 26: Mecanismo de accionamiento PDM .....	53
Figura 27: Dispositivo de bloqueo que incluye el adaptador de desbloqueo de emergencia...54	
Figura 28: Unidad de accionamiento DCU.....	55
Figura 29: Unidad guía .....	55
Figura 30: Caja superior .....	56
Figura 31: Cuadro de control local.....	58
Figura 32: Unidad prototipo .....	60
Figura 33: Test de choque.....	61
Figura 34: Fuerzas en la estructura .....	62

Figura 35: Test de presión.....	63
Figura 36: Panel PCM .....	65
Figura 37: Vista general de interfaz .....	68
Figura 38: Señales CBTC-PSD. Visión general de interfaz .....	79
Figura 39: Señal DEC .....	81
Figura 40: Señales CLS .....	82
Figura 41: Diagrama señal CLS-AD .....	83
Figura 42: Diagrama señal CLS-SD .....	84
Figura 43: Interfaz vital CBTC-PSD .....	85
Figura 44: Señal DOC .....	86
Figura 45: Interfaz no vital CBTC-PSD .....	90
Figura 46: Secuencia de funcionamiento normal .....	93
Figura 47: Obstáculo en puerta de andén .....	94
Figura 48: Fallo de una puerta de andén.....	95
Figura 49: Fallo de una puerta del tren.....	96
Figura 50: Esquema unifilar.....	98
Figura 51: Tierra de los raíles.....	99
Figura 52: Circulación de la corriente .....	100
Figura 53: Gráfico de tensión entre el raíl y la tierra .....	100
Figura 54: Efecto en el organismo de la corriente continua .....	101
Figura 55: Tierra de los raíles.....	102
Figura 56: Fases de instalación.....	105
Figura 57: Ejemplo de elemento de anclaje.....	107
Figura 58: Instalación de los anclajes.....	107
Figura 59: Cobertura temporal de los anclajes .....	108
Figura 60: Instalación de los módulos PSD .....	109
Figura 61: Variante 1 de instalación .....	110
Figura 62: Variante 2 de instalación .....	110
Figura 63: Variante 3 de instalación .....	111
Figura 64: Instalación final.....	111
Figura 65: Disposición de los equipos AUX <sub>BK</sub> .....	113
Figura 66: Ejemplo de posición de los sensores de posición de parada .....	113
Figura 67: Hardware sistema AUX <sub>BK</sub> .....	114

## ABREVIATURAS

Abreviatura	Descripción
AC	Corriente Alterna
ATC	Control Automático del Tren - Automatic Train Control
ATO	Operación Tren Automática – Automatic Train Operation
AUX <sub>BK</sub>	Sistema (Backup) para Interfaz señalización
approx.	Aproximadamente
CBTC	Communication Based Train Control
CLS-AD	Puertas cerradas y bloqueadas, puertas automáticas - doors closed and locked, automatic doors
CLS-SD	Puertas cerradas y bloqueadas, puertas estáticas - doors closed and locked, static doors
DC	Corriente Continua
DCS	Estado Puerta Cerrada - Door Close Status
DCU	Módulo de Control de Puertas - Door Control Module
DEC	Comando de activación de puerta - Door Enable Command
DIR	Puerta Inhibida – Door Inhibit Request
DNS	Puerta Fuera de Servicio – Door Not in Service
DOC	Comando de Apertura de Puerta – Door Open Command
DOCN	Comando de Apertura de Puerta por Red - Door Open Command Network
DRR	Reciclaje de Puerta - Door Recycle Request
FOS	Estado Puerta Abierta – Fully Open Status
LCB	Cuadro de Control Local – Local Control Board
LOS	Puerta Bloqueada - Locked Out Status
OVPD	Dispositivo de Protección Contra Sobretensión - Overvoltage Protection Device
PCC	Panel de control central - Doors Central Control Panel
PCM	Panel de Control Manual - Manual Control Panel
PDM	Puerta Deslizante Motorizada
PED	Platform Edge Door
PEE	Puerta de Emergencia
PFP	Puerta Final Plataforma - Platform Final Door
PFX	Panel Fijo
PSD	Puertas de Andén - Platform Screen Door
PSG	Platform Safety Gates
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TIP	Tren en la plataforma – Train In Platform

## 1 INTRODUCCIÓN

Las puertas de andén son unas mamparas protectoras de cristal colocadas a lo largo del borde de la plataforma del andén que separa el andén de los trenes. Estas mamparas poseen unas puertas sincronizadas con el tren que sólo se abren si éste se encuentra totalmente parado y que permiten la salida y la entrada de los pasajeros. Son un sistema relativamente moderno de seguridad que se utiliza principalmente en líneas de metro a lo largo de todo el mundo y en algunas líneas de monorraíl, aunque es menos frecuente. Se pueden instalar tanto en líneas de nueva construcción como adaptarlas en líneas antiguas.

La primera estación en el mundo en contar con un sistema de puertas de andén fue la estación de Park Pobedy, de la red de metro de San Petersburgo, en el año 1961. Actualmente es usado en líneas de metro de todo el mundo. Algunos ejemplos de líneas que usan el sistema son [1]:

- Metro de San Petersburgo, Rusia.
- Metro de Pekín, Metro de Shanghai, Metro de Guangzhou y Metro de Shenzhen, China.
- Metro de París, Metro de Toulouse, Metro de Rennes y Metro de Lille, Francia.
- Metro de São Paulo, Brasil.
- Metro de Tokio, Japón.
- Metro de Londres, Inglaterra.
- Metro de Sevilla, Metro de Barcelona, España.
- Metro de Nueva York, Estados Unidos.
- Metro de Dubái, Emiratos Árabes Unidos.

El sistema representa un elemento de seguridad importante que previene directamente el acceso de los pasajeros a las vías, y como consecuencia las caídas accidentales de los pasajeros a éstas, el acceso a elementos de alta tensión y según el tipo de puerta, el lanzamiento de objetos a las vías.

Las puertas de andén están coordinadas con la llegada del tren y también se coordinan con una serie de elementos del control automático del tren (ATC) y con algunos sistemas de operación como el ATO (operación automática del tren). El funcionamiento básico sería el siguiente [3]:

- La parada del tren se hace llegar al sistema de control de las puertas por medio de una baliza o un dispositivo correspondiente al sistema de señalización.
- Una vez que el tren está parado, las puertas del tren se abren si los sensores de las puertas de andén o el sistema de señalización de la vía detectan que está en la posición de parada correcta definida por un pequeño intervalo.
- Cuando se están abriendo las puertas del tren, se abren las puertas de andén.

- Una vez que los pasajeros han entrado y salido del tren, las puertas del tren se cierran si no existe ningún tipo de obstáculo (una persona o un objeto) que impida el cierre, y a continuación se cierran las puertas de andén.
- El cierre de las puertas del tren y de las puertas de andén está coordinadas, de forma que interactuando de nuevo con el sistema de señalización y de operación, una alarma causada por el fallo en el cierre de cualquiera de las dos, provoca la apertura de las puertas.

Las PSD's pueden ser operadas por varios tipos de accionadores eléctricos, basados frecuentemente en motores eléctricos de imán permanente debido a que son de una regulación precisa y suave, y con un par inicial elevado para mover las puertas desde su posición inicial. Estos motores a su vez son controlados por un sistema de control que recibe el estado de todos los sensores y se comunica en un nivel más alto con otros subsistemas (ATC y ATO).

Debido a que la localización y conexiones de los sensores, motores, equipamiento de control y los sistemas de comunicación son muy diferentes de un proveedor a otro, y muchos de los elementos están colocados inevitablemente cerca de las vías a una distancia inferior a los 3 metros, es evidente que pueden existir muchos problemas debidos a EMC, considerando también la función de seguridad de este sistema: todas las líneas de control deben estar protegidas contra el más alto grado de interferencias como se refleja en los estándares y normas (EN 50124-4) y los sensores de las puertas deben soportar emisiones particularmente altas por parte no sólo de la tensión de la catenaria, sino de los elementos del vehículo y su equipamiento, debido a la corta distancia a la que se encuentra del tren. En particular, la detección de interferencias mecánicas durante el cierre de puertas está supervisada (como en otras aplicaciones como por ejemplo en las ventanillas de los coches) mediante la comprobación de la corriente consumida, y más común es que ésta comprobación se realice mediante sensores de efecto Hall, que en principio son sensibles a verse perturbados por campos magnéticos.

Otro tipo de aparatos sensibles a los campos magnéticos son los sensores de proximidad del tipo inductivo usados por ejemplo para la detección de la presencia de personas cruzando las puertas o para la alineación del tren a las puertas de andén.

La localización de los elementos de las PSD claramente identifica los estándares aplicables, y si para los sistemas de control de las PSD es necesario que las pruebas se realicen con un nivel de inmunidad menor o se requiera un nivel de ruido más bajo, entonces la localización de los equipos de control deberá ser en una sala diferente de la zona de las vías. Además, en orden de mantener el correcto funcionamiento de los equipos y las condiciones ambientales adecuadas, la conexión entre los elementos de la vía y la sala de equipamiento deben estar adecuadamente apantalladas y protegidas.

El alineamiento de las puertas del tren con el andén (y por tanto con las PSD) se puede realizar por multitud de soluciones. Uno de los métodos para asegurar una correcta apertura de las puertas en el andén es el uso de sistemas de detección en la vía, como por ejemplo antenas en la vía y en el tren que requieran una determinada alineación, con la suficiente precisión para la colocación del tren en línea con el andén. Con las puertas de andén, el requisito la precisión en la parada del tren se ve aumentada, requiriendo para ello el uso de circuitos de una longitud menor y de señales de varios tipos. Los dispositivos más modernos funcionan mediante el emparejamiento magnético de imanes permanentes y bobinas de detección direccionadas de tal forma que la precisión de parada del tren se reduce a unos pocos centímetros.

## 2 OBJETIVOS

La principal intención de este proyecto es describir cómo se realizaría la implantación de un sistema de puertas de andén sobre una estación tipo de una red de metro existente. Como propuesta la instalación se realizará sobre un andén tipo de aproximadamente 125 metros de longitud, y una composición de tren de 6 coches con 4 puertas por cada unidad.

Para desarrollar este propósito, se establecen los siguientes objetivos:

- Descripción y validación de la solución mecánica a adoptar.
- Realizar el diseño del interfaz eléctrico de control entre el sistema de señalización CBTC y el sistema de puertas de andén.
- Realizar una propuesta de montaje e instalación de un sistema de puertas de andén PSD del tipo de media altura (PED).
- Proponer la instalación de un dispositivo de protección contra sobretensiones para la seguridad de los usuarios.
- Definir el método de integración del sistema PSD con el sistema de señalización CBTC existente.
- Proponer una solución que permita al sistema de puertas de andén operar de forma independiente al sistema de señalización instalado en la línea.
- Realizar un análisis de los costes que supondría la instalación.



### 3 TIPOS DE PUERTAS DE ANDÉN

Existen tres tipos de puertas de andén que se clasifican según su altura.

- **PSD (Platform Screen Doors):** Existe total separación entre el andén y las vías debido a su altura completa hasta el techo. Es un sistema perfecto para controlar la climatización de la estación y separar la zona de los pasajeros de la zona de los trenes. Son las que más rigidez estructural presentan ya que están ancladas al suelo y al techo de la estación. El inconveniente principal es su elevado coste y que existen estaciones en las que por su elevada altura, la instalación sería prácticamente imposible.



Figura 1: Platform Screen Doors (Hong Kong)

- **PED (Platform Edge Doors):** Donde la pared queda abierta en la parte superior. A pesar de no ser completas, también se las conoce como Platform Screen Doors al igual que las anteriores. Protegen la entrada de los usuarios a la zona de las vías, pero no aíslan los flujos y las corrientes de aire, ni separa la climatización de la zona de vías de la zona de la plataforma.



Figura 2: Platform Edge Door (Metro de Madrid. Leganés Central)

- **PSG (Platform Safety Gates):** Puertas a media altura acristaladas. Son más pequeñas por lo que tienen un menor coste de instalación que las anteriores. Tienen un menor impacto visual y canalizan el tráfico de gente, pero no protegen la entrada de los usuarios a la vía debido a su escasa altura.



**Figura 3: Platform Safety Gates (Stuttgart)**

## 4 TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL EN REDES DE METRO

Una red de metro se caracteriza por tener que ofrecer un servicio en el que la frecuencia de paso de los trenes es uno de los factores más importantes. Con el objetivo de aumentar esta frecuencia y hacer un sistema ágil y con intervalos de tiempo de espera para los viajeros más corto, es necesario instalar sistemas de control cada vez más complejos. Estos sistemas además deben garantizar la seguridad de las líneas, evitando posibles alcances de trenes que provoquen accidentes, y además organizar la circulación para que ésta sea lo más fluida posible.

Los sistemas de protección y control más frecuentes son los de protección puntual, protección continua, conducción automática y conducción sin conductor.

### 4.1 Protección puntual

En un sistema de protección puntual, la información que recibe el tren es meramente puntual, es decir, no existe una supervisión continua de los movimientos del tren. Se suelen utilizar balizas que informan al tren del estado de la siguiente señal. Sin embargo, el tren puede controlar diversos aspectos, como no superar una determinada velocidad máxima. En este tipo de sistemas, la responsabilidad de los movimientos del tren es totalmente del conductor. Un ejemplo de sistema de protección puntual es el sistema FAP.

- **Sistema FAP**

El sistema de Frenado Automático Puntual (FAP) es un sistema de seguridad utilizado en ferrocarriles. El término se suele aplicar en exclusiva para sistemas de seguridad de metros y ferrocarriles metropolitanos, aunque su funcionamiento es similar al que se aplica en otros sistemas de señalización en ferrocarriles generales (interurbanos y de media y larga distancia), como el sistema español de control puntual ASFA.

La función del FAP es evitar que el tren o tranvía rebase señales en rojo o circule por encima de la velocidad máxima de la vía.

El sistema FAP dispone de dos tipos de balizas a lo largo de la vía:

- Balizas permisivas: Anuncian que se acerca una señal o una limitación de velocidad. En cabina se indica mediante una alarma, que el conductor apaga. Si el conductor no apaga la alarma, el tren frena.
- Balizas totalizadoras: Se sitúan directamente sobre la señal o la limitación de velocidad, frenan directamente al tren en caso de que sobrepase una señal en rojo o la velocidad permitida, sin avisar previamente al conductor.

Además un equipo situado a bordo del tren es capaz de leer las balizas y aplicar freno cuando es necesario.

## 4.2 Protección continua

En un sistema de señalización continua, los movimientos del tren están supervisados continuamente por el equipo embarcado del tren, según la información que le es transmitida por los equipos que se encuentran instalados en la vía, que informan continuamente de las condiciones y el estado de las señales que se encuentran por delante del tren. A este tipo de sistemas se les suele conocer como sistemas ATP.

### 4.2.1 Sistema ATP

ATP (Automatic Train Protection) es un término genérico que, según países y compañías, implica distintos grados de protección del tren.

Este sistema usa una indicación de “velocidad objetivo” y señales acústicas para alarmar al conductor si la velocidad del tren sobrepasa un determinado perfil de velocidad que podría causar el rebase de una señal en rojo, o que exceda una restricción de velocidad. El equipo embarcado aplicará los frenos si el conductor no responde a estas alertas. El sistema tiene en cuenta la velocidad y la posición relativa al final de la autoridad de movimiento para la emisión de las alarmas hacia el conductor y la aplicación de los frenos.

El sistema ATP se compone normalmente de dos partes:

- Las balizas colocadas en la vía, que informan al tren de las condiciones que se tienen que cumplir (velocidad máxima, punto y lado de apertura de puertas, situación de las señales, etc.).
- Los elementos a bordo del tren, que comprueban si la circulación cumple lo establecido.

Las balizas se sitúan a lo largo de la vía y pueden ser balizas fijas entre los carriles o emisores que transmiten la información a través de ondas de radio o del carril. Las balizas pueden transmitir:

- Información fija, como el límite de velocidad en un tramo determinado
- Información variable, como la situación de una señal (vía libre, parada, etc.). Para conocer esta información, la baliza tiene que estar conectada al bloqueo o enclavamiento.

Cuando el tren lee la información que le proporcionan las balizas, comprueba que las condiciones impuestas se cumplan. Si no se cumplen aplica freno de emergencia, o en algunos casos, impide una determinada acción (como abrir puertas si el tren no está en el punto adecuado).

## 4.3 Conducción automática

En este modo de control, el tren es capaz de mantener la marcha por sí mismo, y de acelerar y frenar cuando es necesario para mantener el itinerario, bajo la vigilancia de un conductor. Normalmente el sistema se utiliza simultáneamente a un sistema de protección. A este tipo de modo se le suele denominar ATO.

### 4.3.1 ATO

ATO (Automatic Train Operation, Operación Automática del Tren) es el nombre que recibe en algunos trenes el modo de conducción que gobierna al tren de forma automática sin la intervención del conductor. El ATO es un modo de conducción y no un sistema de seguridad, por lo que el ATO es siempre supervisado por otros sistemas, como el ATP.

El modo ATO se utiliza principalmente en trenes metropolitanos. Cuando está activado regula la marcha, el frenado, etc. El conductor se limita a abrir y cerrar puertas, dar orden de salida al ATO y supervisar la seguridad de todo el sistema.

El sistema ATO permite frecuencias de un tren cada 3 minutos a velocidades de hasta 80 kilómetros por hora.

Para iniciar la explotación en modo ATO, un grupo de técnicos establece para una vía determinada las curvas de aceleración y frenado, la velocidad idónea en cada punto, los puntos de parada y todos los parámetros necesarios para la conducción automática. Con estos datos se decide la situación de las balizas necesarias para el ATO, que pueden ser de dos tipos:

- Indican al tren dónde tiene que acelerar y frenar.
- O indican al tren su posición en la línea, para que este decida dónde acelerar y dónde frenar según el perfil de la vía registrado a bordo.

Como el ATO regula la marcha del tren y no su seguridad, no es función de las balizas del ATO evitar que el tren supere la velocidad máxima o rebase señales en rojo, sino que estas funciones se dejan a otras balizas de otros sistemas, como el ATP. El ATO puede utilizar la información de las balizas de otros sistemas para regular su conducción, por ejemplo, deteniéndose ante una señal en rojo sin rebasarla como haría un conductor.

#### 4.3.1.1 Ventajas del ATO

La utilización del modo ATO tiene una serie de ventajas respecto a la conducción manual:

- Reduce el tiempo de estación a estación, ya que apura al máximo la velocidad límite de la vía.
- El frenado es uniforme, el ATO mismo regula la velocidad y la va adecuando a la distancia que le queda para llegar al punto de parada.
- Se puede regular la parada siempre en el mismo punto del andén.
- La regulación de la velocidad impide superar la velocidad máxima de la vía, con lo que se evita que el tren entre en frenada de emergencia inesperada.

- Al ir los trenes más rápido, la línea puede mejorar su frecuencia de paso.

#### 4.4 Circulación sin conductor

Actualmente muchas líneas funcionan sin conductor, con la intención de reducir costos y aumentar la frecuencia de servicio.

Existen diferentes sistemas de automatización del tren:

- En sistemas tipo ATO, el tren marcha automáticamente de estación a estación, pero en cabina siempre hay presente un conductor, responsable de cerrar puertas y supervisar la seguridad.
- En un sistema sin conductor, el tren marcha automáticamente de estación a estación pero en el tren siempre hay presente un agente, responsable de cerrar puertas y coordinar situaciones de emergencia.
- En un sistema completamente automático, el tren marcha automáticamente en todo punto, sin necesidad de personal a bordo del tren.

La instalación de un sistema de puertas de andén está enfocada hacia este tipo de sistemas en los que no se requiera la intervención de un conductor para los movimientos del tren y para la apertura y cierre de las puertas.

## 5 SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN FERROVIARIO

### 5.1 Breve historia sobre los sistemas de control de trenes

Los primeros elementos no visuales para apoyar la señalización lateral son muy antiguos [3]. Ya en 1842, E. A. Cowper patentó la primera señal acústica, el "detonador", que era prácticamente un petardo unido al carril, que estallaba cuando pasaba un tren por encima. Puesto que los petardos tenían que ser colocados manualmente, el uso era limitado a las situaciones de emergencia.

El paso siguiente fue, en Gran Bretaña y los E.E.U.U., y a partir de 1850, la automatización de señales acústicas, mediante contactos mecánicos entre las señales y las locomotoras. Los primeros aparatos eran una señal acústica (típicamente un gong) instalada lateralmente a la vía (p. e., en el soporte de la señal). Si la señal indicaba parada una barra tocaba las ruedas y sonaba el gong. Más adelante, el gong fue instalado en la locomotora, constituyendo, así, la forma más temprana señalización en cabina.

Alrededor de 1872, se creó en Francia el "Crocodile", el sistema de control de tren (al principio sólo repetición de señales laterales) con un ciclo de vida más largo, pues todavía está en operación en las redes francesa y belga. El término "Crocodile" deriva de la forma del dispositivo de la rampa colocada entre los carriles, que se utiliza para establecer un contacto galvánico (electromecánico) y transmitir información a la locomotora.

A partir de ese momento, la introducción del primer verdadero sistema de control del tren estaba sólo a un paso. Alrededor de 1870, Axel Vogt, el jefe de mecánicos del ferrocarril de Pennsylvania colocó un tubo de vidrio en la cabina, conectado con el tubo del freno neumático. Si un tren sobrepasaba una señal de parada, una palanca de la señal golpeaba y rompía el tubo de vidrio y se aplicaban los frenos.

El primer sistema de control del tren utilizado a gran escala fue el ATC (control automático del tren) de la compañía británica GWR, que fue introducido en 1906. El ATC se basó en el sistema francés "Crocodile" pero, además de la señal acústica, el ATC también tuvo desde el principio métodos de visualización mecánica en la cabina y de accionamiento automático del freno de emergencia. Aunque el ATC y los sistemas similares han experimentado varias modificaciones, el principio de base es el mismo, y todavía se utiliza hoy.



En 1920, el ferrocarril de Pennsylvania introdujo el sistema de CCS (Continuous Cab Signals), que a menudo está considerado como un hito en la historia de sistemas de control de trenes. El CCS es el antepasado de muchos sistemas existentes, incluyendo el BACC italiano y el ATB holandés. En vez de contactos electromecánicos (y sus partes móviles posibles fuentes de averías), el CCS se basa en un contacto inductivo entre circuitos cifrados en la vía y un receptor en la locomotora. Desde el principio fueron utilizadas luces de colores para anunciar en la cabina el aspecto de la próxima señal. El sistema original tenía dispositivo de intervención automática del freno, pero fue desactivado más adelante por algunas compañías. El CCS anunciaba las señales en la cabina tan correctamente que algunas compañías ferroviarias americanas quitaron las señales laterales para reducir gastos de explotación. Después de la primera guerra mundial, CCS fue transferido a la Unión Soviética. En lo que se refiere a longitud de líneas equipadas, CCS es el sistema mayoritario en el mundo.

Mientras, en Alemania, Siemens comenzaba el desarrollo de Indusi, el primer sistema de control aplicado a gran escala que incorporó la supervisión de la curva de frenado. De una forma semejante al CCS americano, también utiliza inducción para transmitir la información, pero la transmisión tiene lugar solamente en puntos discretos, mediante circuitos magnéticos en la locomotora y en las señales. Debido a su confiabilidad, a la simplicidad y a la capacidad de parar el tren antes del punto de peligro, Indusi y sus derivados se convirtió en el sistema de control más popular en buena parte de Europa (Alemania, Austria, Polonia, la antigua Yugoslavia, Rumanía, Turquía).

La transmisión de información mediante transponders es más reciente y en ella se basan los sistemas españoles ASFA y el sueco EBICAB (en España se utiliza la versión EBICAB 900). Más reciente aún es la transmisión sin hilos que es el sistema utilizado por el europeo ERTMS y sus antecesores FFB (FunkFahrBetrieb) y FZB (FunkZugBeeinflussung) de la Deutsche Bahn.

Basados en los "antepasados" comunes (el Crocodile francés, el CCS americano y el Indusi alemán, los tres sistemas de control han evolucionado históricamente de maneras muy diferentes en las distintas compañías ferroviarias. Los sistemas modernos incluyen el cálculo dinámico en tiempo real del perfil de la velocidad. En 1990, había por lo menos 30 sistemas de control del tren distintos en operación en la red europea de vía ancha. A pesar de los antepasados comunes, casi todos los sistemas existentes son completamente incompatibles. La creación de las eurobalizas y sobre todo de ERTMS, debe terminar con esta "torre de Babel de estándares".



## 5.2 Sistema CBTC

El sistema CBTC (Control del Tren Basado en Comunicaciones o Communications Based Train Control) es un sistema de control automático continuo de trenes usado en transporte ferroviario metropolitano, que utiliza una localización de la ubicación del tren de alta resolución e independiente de los circuitos de vía, comunicaciones bidireccionales de datos tren-tierra de alta capacidad y procesadores a bordo del tren y en la vía con la capacidad de implementar funciones vitales [10].

Los sistemas de protección de trenes tradicionales presentaban ciertas limitaciones, como el hecho de que la ubicación de los trenes sólo fuera determinada por los circuitos de vía, lo que resultaba en una pobre resolución de la ubicación del tren o que los comandos de funcionamiento del tren se limitaran a indicaciones en el equipamiento junto a la vía o a una pequeña cantidad de comandos de velocidad en cabina, caso de existir señalización en cabina.

El sistema CBTC debe incluir la capacidad de proporcionar funciones ATP, ATO y ATS. Las funciones de ATP proporcionan funciones de “fallo seguro” contra colisiones, excesos de velocidad y otras condiciones peligrosas. Las funciones de ATO controlan operaciones básicas que de otra forma deberían ser realizadas por un conductor. Estas funciones se realizan siempre bajo la supervisión ATP y bajo los límites de protección impuestos por éste. Las funciones ATS proporcionan información del estado del sistema y los medios necesarios para la monitorización y anulación del control automático de varias funciones del sistema.

El interfaz entre las comunicaciones tren-vía soporta transferencia de datos de manera bidireccional, y proporciona cobertura geográfica continua en todo el territorio CBTC.

Existen diferentes configuraciones de los sistemas CBTC, dependiendo de la aplicación específica a la que vaya dirigido. Un sistema CBTC debe ser capaz de:

- a) Proporcionar funciones sólo de ATP, sin incluir funciones de ATO o ATS
- b) Proporcionar funciones de ATP así como determinadas funciones ATO y/o ATS, suficientes para las necesidades de cada aplicación específica.
- c) Ser el único sistema de control de trenes en una aplicación dada o ser usado en conjunción con otros sistemas de señalización.

### 5.2.1 Descripción del sistema

El sistema CBTC se compone de los siguientes subsistemas:

- a) Equipamiento ATS
- b) Equipamiento de vía
- c) Equipo embarcado
- d) Equipo para la comunicación de datos

### **5.2.1.1 Equipamiento ATS**

El equipo ATS incluye el equipamiento que proporciona información no vital como la identificación, seguimiento y la visualización de los trenes, proporcionando capacidades manuales y automáticas de ajuste de ruta y regulación de circulación, para mantener los horarios de operación.

### **5.2.1.2 Equipamiento de vía**

El equipamiento de vía CBTC consiste en una red de procesadores, controladores de vía instalados en ubicaciones centrales y/o localizadores al borde del carril. Cada controlador de vía, interactúa con los equipos a bordo CBTC del tren a través del equipo de comunicación de datos CBTC, y también pueden interactuar con enclavamientos externos y equipos CBTC ATS.

La inteligencia de vía para las funciones relacionadas con el ATP CBTC, tales como ajuste de autorización de movimiento basado en el seguimiento de los trenes equipados y no equipados con CBTC, así como otras funciones de vía ATP, ATO y funciones ATS reside en los controladores de vía. (La determinación de la ubicación de los trenes es una función del equipo de a bordo del tren para los trenes equipados con CBTC y una función del equipamiento de vía para trenes no equipados.)

El equipamiento de vía CBTC también incluye cualquier equipo necesario para proporcionar una referencia de posicionamiento absoluto única para el equipo a bordo del tren CBTC.

### **5.2.1.3 Equipo embarcado**

El equipo embarcado CBTC consiste en uno o más controladores y los sensores necesarios para medir la velocidad y determinar la localización del tren.

El equipo embarcado interactúa con otros subsistemas del tren (incluyendo los interfaces para el operador del tren) y con los equipos CBTC y ATS de vía y el equipo de comunicación de datos CBTC.

Es el responsable de la determinación de la localización del tren, la supervisión de la velocidad permitida y el cumplimiento de la autoridad de movimiento del tren, además determinadas funciones de ATP y ATO.

### **5.2.1.4 Equipo para la comunicación de datos**

El equipo para las comunicaciones CBTC incluye el equipamiento de las salas técnicas y de vía, además del equipo embarcado, para proporcionar comunicaciones vía-vía y vía-equipo embarcado (así como comunicaciones propias del tren en aquellas aplicaciones en las que el equipo embarcado consiste en varios controladores). Los enlaces de datos entre los subsistemas principales CBTC deben apoyar la transferencia de datos bidireccional y deben tener suficiente ancho de banda y latencia exhibir suficientemente baja para apoyar todas las funciones ATS, ATP y ATO definidos.

Los equipos de comunicación no proporcionan por sí mismos ninguna función CBTC y no es un equipo considerado vital.

### 5.2.1.5 Funciones de control del tren

#### 5.2.1.5.1 ATP

##### 5.2.1.5.1.1 Protecciones básicas

- Ubicación del tren y determinación de la velocidad y la dirección: El sistema CBTC determinará la ubicación de la cabecera y la cola de cada tren equipado con este sistema con una gran precisión, no siendo necesario por tanto introducir de manera manual la ubicación del tren ni su longitud. Junto a esto, el sistema determinará la dirección de movimiento del tren y la velocidad de éste con una precisión aproximada de 1 Km/h.
- Separación segura entre trenes: Cada tren equipado con CBTC tendrá un límite autorizado de movimiento basado en cálculos en tiempo real de las diferentes condiciones. Este límite de movimiento vendrá determinado por la posición del tren precedente y la capacidad de frenado del tren, dependiente del modelo de tren, la velocidad y el tiempo de respuesta del equipamiento CBTC. En general, la velocidad permitida para un tren será aquella que garantice la parada antes de llegar al límite establecido de movimiento.
- Protección ante exceso de velocidad: La protección CBTC frente a un exceso de velocidad obligará al tren a respetar el límite de velocidad de la sección de vía, el límite que garantice cumplir con el límite de movimiento o cualquier tipo de restricción de velocidad temporal para el tramo de vía.
- Detección de velocidad cero: El sistema CBTC podrá determinar cuándo tren se encuentra en movimiento gracias a los tacogeneradores instalados en los bogies. El principal propósito de esta función es validar que se ha forzado una parada dentro de unos límites fijados.
- Dispositivo de seguridad de control de apertura de puertas: El sistema CBTC prevendrá la apertura de puertas por parte de los pasajeros a menos que el tren se encuentre a velocidad cero, se haya aplicado el freno de servicio para apertura de puertas y que la puerta que se solicita abrir se encuentre en la zona de apertura de puertas.
- Dispositivo de seguridad de partida: El movimiento del tren está prohibido a menos que todas las puertas estén cerradas y bloqueadas.
- Frenado de emergencia: El sistema CBTC deberá aplicar los frenos de emergencia cuando sea requerido por las condiciones y deberá prevenirse la liberación de los frenos de emergencia hasta que ciertas condiciones se cumplan. El frenado de emergencia se utiliza cuando la velocidad permitida se ha excedido y los controles humanos o automáticos no frenen el tren de forma suficiente.
- Dispositivo de seguridad de ruta: El sistema CBTC suministrará funciones de bloqueo para evitar colisiones de trenes y descarrilamientos.

##### 5.2.1.5.1.2 Protecciones adicionales

- Protección ante movimiento no autorizado en sentido contrario a la dirección de movimiento autorizada: Si el tren se mueve más de un metro en dirección opuesta a la autorizada se produce la aplicación de los frenos de emergencia.
- Protección de final de vía: Un límite de autorización de movimiento nunca se deberá extender más allá del final de vía, y este mecanismo permite frenar con total seguridad el tren antes de llegar al fin de vía.
- Protección de tren no acoplado: El sistema CBTC detectará un tren que se ha dividido por cualquier razón y aplicará el frenado de seguridad. Para operaciones que requieran el acoplamiento y desacoplamiento de trenes, CBTC soportará y protegerá esta operación, detectando automáticamente la ubicación y longitud de las partes, y controlando que la aproximación de las partes se realice a una velocidad óptima para el acoplamiento.
- Dispositivo de seguridad para movimiento en dirección contraria: CBTC ofrece la posibilidad de movimiento en dirección opuesta completamente automatizado con protección.
- Protección de zona de trabajo: El sistema CBTC permitirá a supervisores del movimiento de trenes crear zonas de vía cerradas al tráfico, zonas de trabajo con velocidad reducida y zonas donde no se permita la operación automática del tren.
- Detección de vía deteriorada: El sistema CBTC podrá tener interfaces con sistemas auxiliares que detecten problemas en la vía, parando así todos los trenes que circulen por la sección de vía donde se encuentre el problema
- Control de pasos a nivel: El sistema CBTC podrá tener un interfaz con cualquier dispositivo en pasos a nivel para dar tiempos de aviso constantes independientemente de la velocidad del tren, controlar la limitación de movimiento teniendo en cuenta los pasos a nivel, mantener señales activas cuando varios trenes se aproximen a cruces de múltiples vías o mejorar el control de las señales de tráfico cercanas.
- Protección de ruta restringida: CBTC habilitará funciones de protección de rutas permanentes, temporales o automáticas, con restricciones basadas en el tipo de tren o de peligros en la ruta.

#### 5.2.1.5.2 ATO

- Control de velocidad: El sistema CBTC será capaz de suministrar operación automática completa a todos los trenes, dentro de las restricciones de las funciones de protección y supervisión automática del tren y cuando sean activadas por el operador del tren o el conductor, caso de estar presentes. El sistema controlará velocidad, aceleración, deceleración y evitará cambios bruscos con el fin de asegurar la comodidad de los pasajeros.
- Posicionamiento en los andenes: CBTC soportará un cierto número de funciones de posicionamiento automático en los andenes. Los dispositivos de seguridad de apertura de puertas sólo permitirán abrirse a aquellas puertas que se encuentren en los andenes. Normalmente, los trenes se pararán automáticamente centrados en la zona de apertura de puertas del andén. Si el andén es lo suficientemente

largo se podrán definir distintas zonas de apertura de puertas, y si es lo bastante largo para permitir la parada simultánea de varios trenes, esa operación se realizará con operación y protección automática.

- Operación de las puertas: El sistema CBTC podrá abrir y cerrar automáticamente las puertas del tren. El tiempo de parada del tren podrá ser monitorizado por la función ATO, y modificado por la función ATS. El sistema ATO emitirá un sonido para notificar al conductor de que debe realizar el cerrado de puertas manualmente.

### 5.2.1.5.3 ATS

- Interfaz de usuario: La función de supervisión automática del tren es una combinación de funciones automáticas y manuales usadas para suministrar una monitorización mejorada y control de las operaciones de los trenes. Las funciones automáticas podrán modificar la operación de los trenes para mantener progresos, horarios, transferencias sincronizadas y otras funciones. El interfaz de usuario permitirá a los supervisores de operación de trenes monitorizar y controlar las operaciones de trenes usando toda la información disponible en el sistema CBTC.
- Identificación y seguimiento del tren: A cada tren equipado para funcionar bajo el sistema CBTC se le deberá asignar un único número de identificación que será utilizado para identificar el tren en todas las pantallas e interfaces del sistema CBTC. CBTC permitirá automáticamente seguir, mantener expediente y presentar la identificación, la ubicación de la parte delantera y trasera del tren, la ruta, el horario, el estado y otros datos relevantes.
- Control de ruta: Usando los datos de identificación del tren y cierta información definida por el usuario, como datos de servicio del tren, reglas de encaminamiento predefinidas o estrategias de servicio, el sistema CBTC podrá automáticamente fijar las rutas de los trenes. Con esto se realizarán funciones de control en los cruces, se podrá controlar el retroceso de los trenes al final de ruta y se dotará a los encargados de la supervisión de los trenes de la posibilidad de realizar reencaminamientos de los trenes como respuesta a fallos e interrupciones imprevistas o planificadas.
- Regulación automática del tren: El sistema CBTC tendrá la capacidad de monitorizar y regular los trenes para los que previamente se hayan fijado requisitos horarios y progresos, ajustando automáticamente tiempo de parada en la estación y tiempo entre estaciones. Junto a esto, CBTC contará también con gestión de cruces, monitorizando y controlando las uniones entre líneas para minimizar los retrasos globales del sistema, y con estrategias de optimización de energía.
- Funciones de parada en la estación: ATS incluirá funciones que permitan a un tren o un grupo de trenes ser parados en una determinada estación aunque el perfil de encaminamiento no fijará la parada, mantener a un tren en una estación inhibiendo su apertura de puertas o saltar cierta estación donde estaba previamente programada una parada.

- Operaciones de restricción a trenes: ATS contará con funciones que permitan fácilmente fijar restricciones de manera remota a ciertas operaciones de los trenes. El sistema podrá parar automáticamente un tren, fijar restricciones de velocidad, bloquear ciertos tramos de vía o asignar a una zona el estado de zona de trabajo.
- Sistemas de información al pasajero: Otra característica del sistema CBTC será la de poder implementar servicios de información al pasajero. En cada estación, para cada ruta, una pantalla informará a los pasajeros del estado de la ruta, los minutos que faltan para la llegada del siguiente tren y los retrasos esperados, y en cada tren se suministrará al usuario información en tiempo real como, por ejemplo, las paradas y las combinaciones posibles con otros trenes.
- Informe de fallos: Se presentarán automáticamente en el interfaz de usuario de ATS los distintos fallos y otras condiciones detectadas por el CBTC. Estas alarmas incluirán fallos del equipamiento de a bordo o de vía, entrada no autorizada de trenes no equipados en una zona con el sistema RCBTC, violaciones del límite de movimiento autorizado, separaciones de trenes no esperadas o fallos en las comunicaciones. Además, se informará también de problemas ocurridos en los trenes, como aplicación del freno de emergencia, fallos de sistemas auxiliares, fallos de sistemas de propulsión, señales de emergencia de los pasajeros o retrasos no autorizados en las estaciones o en el cierre de puertas, y de problemas en el equipamiento de vía, como raíles deteriorados, fallos de conmutación, fallos en sistemas auxiliares, pérdidas de potencia o señales de emergencia emitidas por el equipo de estación.



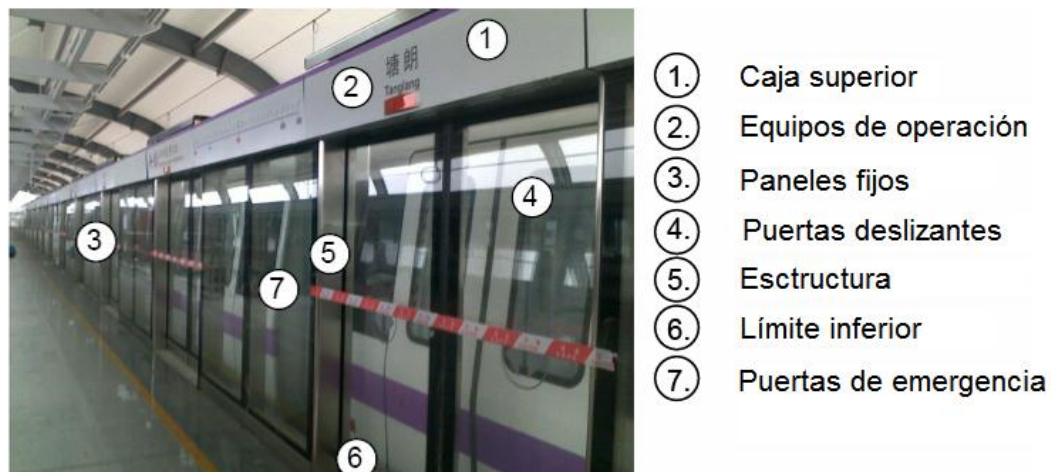
## 6 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

### 6.1 Características generales

Una estación típica tiene dos plataformas de andén, uno a cada lado. La longitud estándar del andén que se ha elegido para este proyecto es de 130 m, ya que representa una longitud media de estaciones existentes con este sistema.

Para todas las estaciones del presente proyecto, se instalarán los siguientes elementos:

- 24 Puertas motorizadas deslizantes (PDM).
- 48 Puertas de emergencia (PEE).
- 2 Puertas de final de andén (PFP).
- 4 Paneles fijos (PFX).
- 2 Paneles de control manual (PCM).



**Figura 4: Componentes principales**

En la sala de control, se instalará un Panel de Control Central (PCC) y un sistema redundante de comunicaciones.

Además, existirá un sistema auxiliar de control  $AUX_{BK}$  que funcionará independiente al sistema de señalización CBTC. Este sistema auxiliar sólo se utilizará en modos degradados cuando el sistema CBTC no esté disponible.

Todos los módulos empleados tendrán una altura máxima de 2.5 m desde el suelo del andén, incluidos todos los equipos de control de las puertas. Es decir, este sistema no cubre la plataforma completa desde el suelo hasta el techo, pero alcanza una altura suficiente como para impedir la entrada de pasajeros de forma no controlada.

Para asegurarse de que no se producen diferencias de potencial entre los módulos PSD y la estación, se instalará un sistema apropiado de puesta a tierra de los equipos a la tierra de la estación. Además, se instalará un sistema de protección contra sobrevoltaje entre los circuitos de puesta a tierra de la estación y de la zona de las vías. Este dispositivo sólo actuará cuando el tren se encuentre en la estación y se produzca una diferencia de potencial por encima de un valor típico (50VDC) entre el circuito de tierra de la estación y el circuito de tierra de la vía. Los detalles del sistema de protección están definidos en el capítulo 15 Protección contra sobretensiones.

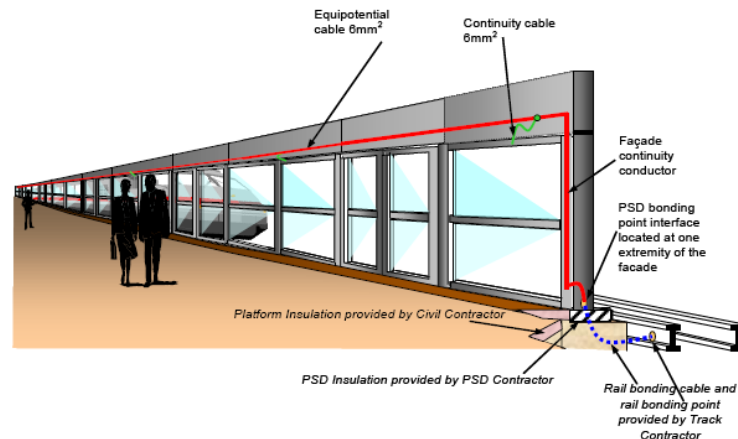


Figura 5: Ejemplo de puesta a tierra

## 6.2 Arquitectura del equipamiento PSD

En la siguiente figura se puede ver la arquitectura esquemática del sistema.

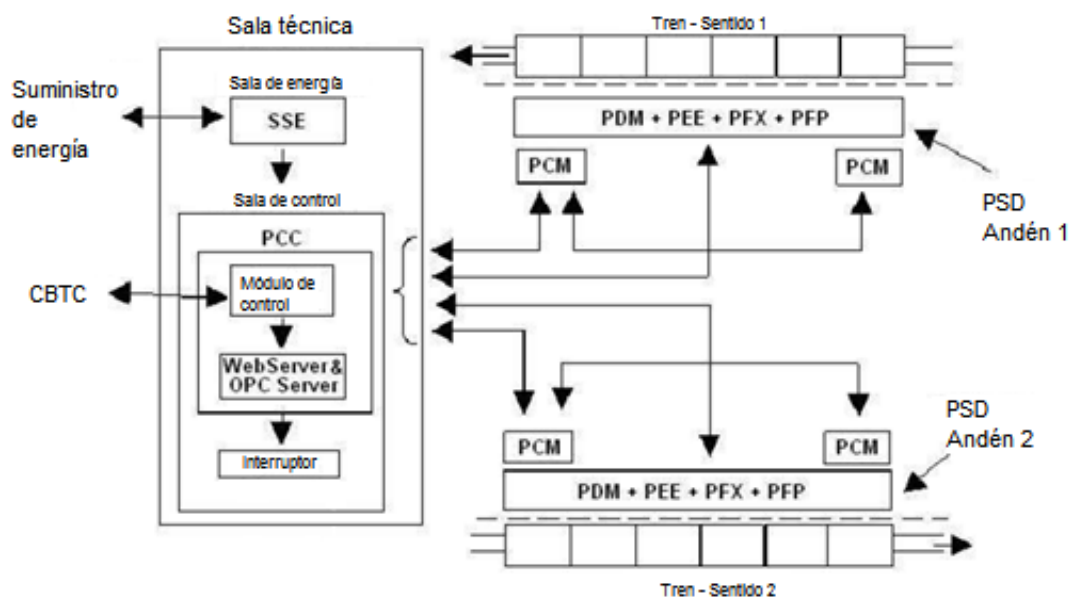


Figura 6: Arquitectura del sistema



El sistema de señalización CBTC interactuará con el sistema de puertas de andén por medio del Panel de Control Central instalado en la sala técnica de la estación, mandando las señales necesarias para la apertura o cierre de las puertas.

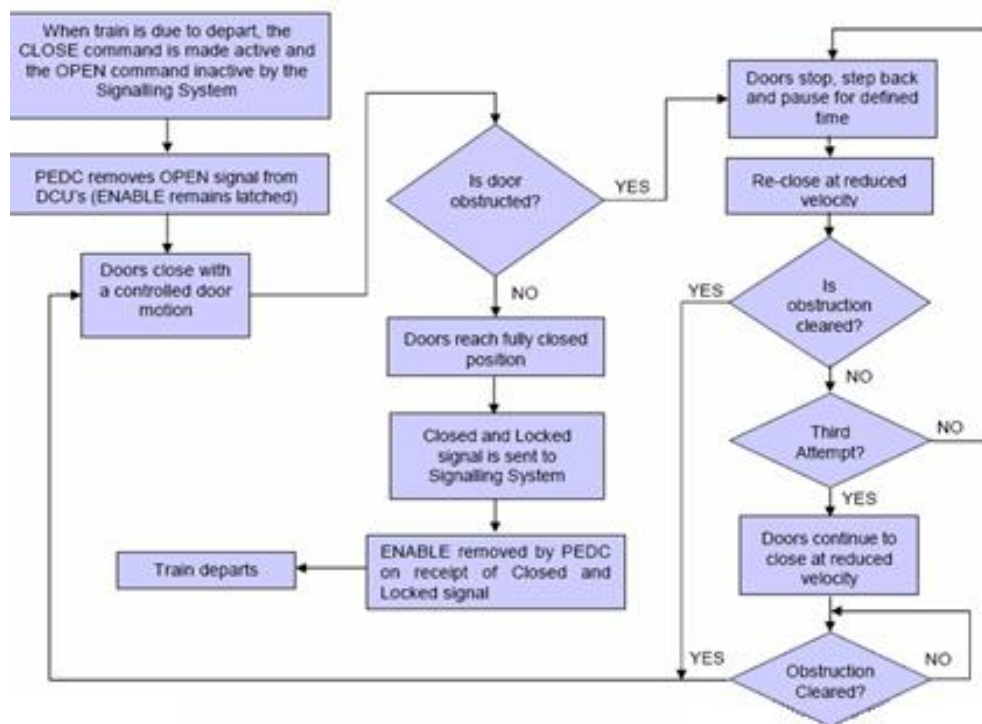
El PCC procesará la información recibida por parte del sistema de señalización y enviará la información a los equipos instalados en el andén, que ejecutarán las órdenes correspondientes.

### 6.3 Funcionalidad

Una vez que el tren se encuentra detenido y alineado correctamente en la estación, puertas de andén (PSDS) se abrirán al mismo tiempo que las puertas del tren. La sincronización entre las PSDS y las puertas del tren debe lograrse con el fin de mejorar el intercambio de pasajeros. Después de un tiempo transcurrido, las puertas del tren y PSDS se cerrarán y el tren partirá de la estación.

El tiempo de apertura y cierre debe ser de 2 y 3.5 segundos respectivamente, a fin de prevenir posibles daños que se puedan causar a los usuarios o al personal de mantenimiento, además de evitar daños en las partes móviles de los equipos y alargar su vida útil. El tiempo de apertura suele ser inferior al tiempo de cierre debido a la posibilidad de golpear a cualquier usuario. La energía cinética de cierre de las puertas no podrá ser superior a 10 Julios (valor estipulado que puede causar daño a una persona) y para no superar este valor se debe tener en cuenta el peso de la puerta deslizante y su velocidad de cierre. De esta forma, cuanto mayor sea la hoja de la puerta automática, menor será la velocidad de cierre. Por el contrario, una puerta más pequeña, con menor apertura, no proporciona un flujo correcto de pasajeros, además de aumentar la precisión necesaria para la parada del tren.

El equipo PSD deberá detectar posibles obstáculos durante el movimiento de cada una de las puertas. En el caso de que se detecte un obstáculo, la puerta automática PDM se detendrá y retrocederá 100 mm, para después reanudar el movimiento que estaba realizando. Si después de realizar esta operación, el obstáculo ha desaparecido, la puerta se cerrará con normalidad. Si el obstáculo todavía permanece en el medio de la trayectoria de la puerta, se realizarán 3 intentos de apertura/cierre de la puerta. Si después de estos 3 intentos no se consigue cerrar la puerta, ésta se detendrá y se deberá mandar de nuevo el comando cierre/apertura desde el centro de control de la estación.



**Figura 7: Diagrama de flujo de las PSD**

En caso de fallo de una de las puertas PDM se procederá al aislamiento de la misma a través de una llave disponible por el personal de mantenimiento. Esa información será recibida por el sistema CBTC que enviará un comando de inhibición para evitar la apertura de la puerta del tren correspondiente. Igualmente, si el fallo está en alguna de las puertas del tren, éste enviará la información para evitar la apertura de la puerta de andén correspondiente. Esto implica un control individual de cada una de las puertas, tanto en el sistema PSD como por parte del equipo embarcado del tren.

El estado de las puertas es continuamente monitorizado por el sistema CBTC. Así, cuando el sistema PSD reporta que las puertas no están cerradas y bloqueadas, el sistema CBTC aplica una restricción de velocidad cero en el segmento perteneciente a la estación, evitando la entrada de los tren a la estación. En caso de fallo individual de una de las puertas, un operador podrá aislar manualmente la puerta del sistema PSD.

Sólo se permitirá la salida de un tren de la estación si se recibe la señal de que todas las puertas están cerradas y bloqueadas por parte del sistema PSD. En el caso contrario, el tren permanecerá en la estación. No obstante, desde el panel de control manual (PCM) un operador podrá tomar el control manual del sistema.

La información de cada uno de los eventos de cada puerta individual se enviará al centro de control, por lo que se tendrá siempre una información actualizada del estado de cada una de las puertas y se podrá comprobar la causa de un posible fallo.

## **6.4 Interfaz mecánico**

Las dimensiones estructurales del sistema PSD debe contemplar las cargas dinámicas causadas por el movimiento de los trenes, la fatiga debida a los esfuerzos repetitivos, los pasajeros y las fuerzas de impacto recomendadas para este tipo de aplicación.

La estructura estará fijada a la plataforma por medio de múltiples postes metálicos. Se realizará un examen en profundidad de los andenes existentes para asegurar que la plataforma podrá soportar las cargas mecánicas de la estructura.

## **6.5 Interfaz eléctrico PSD / CBTC**

Se intercambiarán señales digitales de entrada y salida entre el sistema de señalización CBTC y los equipos de puertas de andén PSD.

Los comandos de apertura de las puertas, así como los comandos de cierre y la comprobación del enclavamiento de las mismas, se realizará mediante señales cableadas. Para las funciones relacionadas con la seguridad se utilizará el concepto de “fallo seguro”, para garantizar un nivel de seguridad SIL 3 o superior.

## 7 DESCRIPCIÓN MECÁNICA DE LAS PUERTAS DE ANDÉN

### 7.1 Visión general

El sistema de puertas de andén está formado por una estructura tipo mampara acristalada, dotada de puertas de diferentes tipos y funcionalidad [11]:

- Puertas deslizantes automáticas, que se abren y cierran automáticamente de manera sincronizada con las de los trenes.
- Puertas batientes, que estarán ubicadas en los espacios entre puertas automáticas y en las puertas para acceso a las vías, situadas en los extremos del andén.

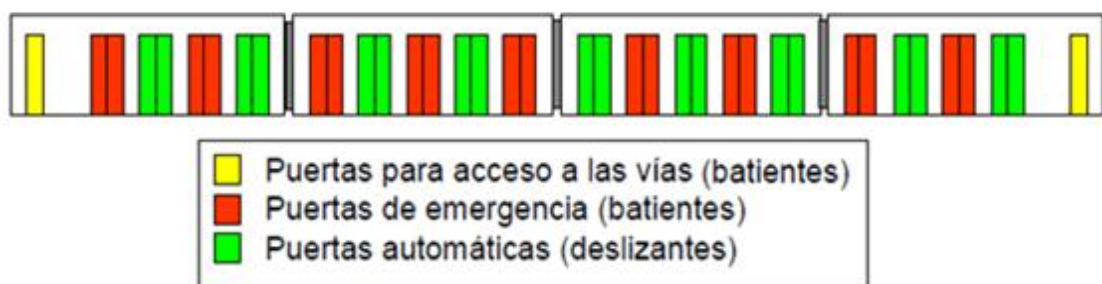


Figura 8: Esquema de instalación. Vista frontal.

El sistema PSD se instalará en el borde la plataforma de las estaciones, con la intención de separar el área de los pasajeros de la zona de las vías.

Por encima de las estructura, a lo largo de todo el andén, se sitúa la franja de mecanismos y de señalización. Dentro de este habitáculo se encuentran todos los dispositivos y equipos mecánicos y electrónicos necesarios para operar cada módulo.

En cada andén se instalarán dos cuadro de control local (Panel de Control Manual, PCM) accesible sólo mediante una llave especial que permite la operación manual de las puertas automáticas bajo la responsabilidad de un operador.

El estado todas las puertas de cada andén, tanto automáticas como manuales, es monitorizado continuamente y reportado al sistema de señalización y al centro de control.

En cada andén se instalarán los siguientes elementos:

- **Puertas Automáticas (PDM):** Enfrentadas con las puertas del tren, se dispondrán 24 puertas deslizantes que se abren y cierran automáticamente ante la llegada y correcta detención del convoy. Cada una de estas puertas tiene un módulo de control propio que activa los motores para abrir y cerrar, en función de las órdenes que llegan a ella a través de un bus de comunicaciones.
- **Puertas de Emergencia (PEE):** En los espacios entre las puertas automáticas se instalarán 48 módulos de puertas batientes. Estas puertas se abren de forma manual desde el lado del tren, y sirven para desalojar a los pasajeros en caso de fallo de las puertas automáticas o parada imprecisa del tren en la estación. En el caso en el que los trenes no sean de tipo pasillo para los pasajeros y esté

compuesto por vagones individuales, este número se verá aumentado de acuerdo con la composición de la Figura 13.

- **Puertas de Final de Plataforma (PFP):** En cada extremo del andén se instalará una puerta batiente que permite el acceso a vía. Son una variante de uno de los módulos anteriores. Se abren de forma manual desde el lado del andén con una llave especial y desde el lado vía mediante accionamiento directo.
- **Panel de vidrio (PFX):** Para cerrar los espacios que quedan, se instalarán unos paneles fijos de vidrio, que proporcionarán además un refuerzo estructural.
- **Cuadro de control local (LCB):** Consistente en un cuadro de control que permite elegir el modo de operación de cada puerta de forma individual. Desde el LCB (panel de accionamiento manual) se puede seleccionar entre los siguientes modos de funcionamiento:
  - Manual.
  - Automático.
  - Fuera de servicio.
  - Modo Mantenimiento.
- **Panel de Control Manual (PCM):** Por cada plataforma se instarán dos paneles de control desde los que se podrá observar el estado en el que se encuentran las puertas, activar el sistema AUX<sub>BK</sub> y activar el control manual de las puertas de andén.
- **Panel de Control Central (PCC):** En la sala de técnica de cada estación, se instalará un panel de control que controlará las dos plataformas, en el cual se podrá visualizar de una manera más detallada el estado de las puertas, el modo de funcionamiento y mensajes de fallos o alertas.

El sistema admite tres modos de funcionamiento: Modo Automático, modo Manual y modo AUX<sub>BK</sub>, que permite la operación automática independientemente del sistema de señalización.

El **modo Automático** es el modo de funcionamiento normal del sistema. En este modo, un sistema de control se encarga de la apertura y cierre de las puertas deslizantes.

En el **modo Manual** un operador es el que se hace cargo del control de las puertas mediante un cuadro de control situado en el andén.

El **modo AUX<sub>BK</sub>** es un modo especial de funcionamiento que será independiente del sistema de señalización CBTC, y que funcionará de manera similar al modo automático.

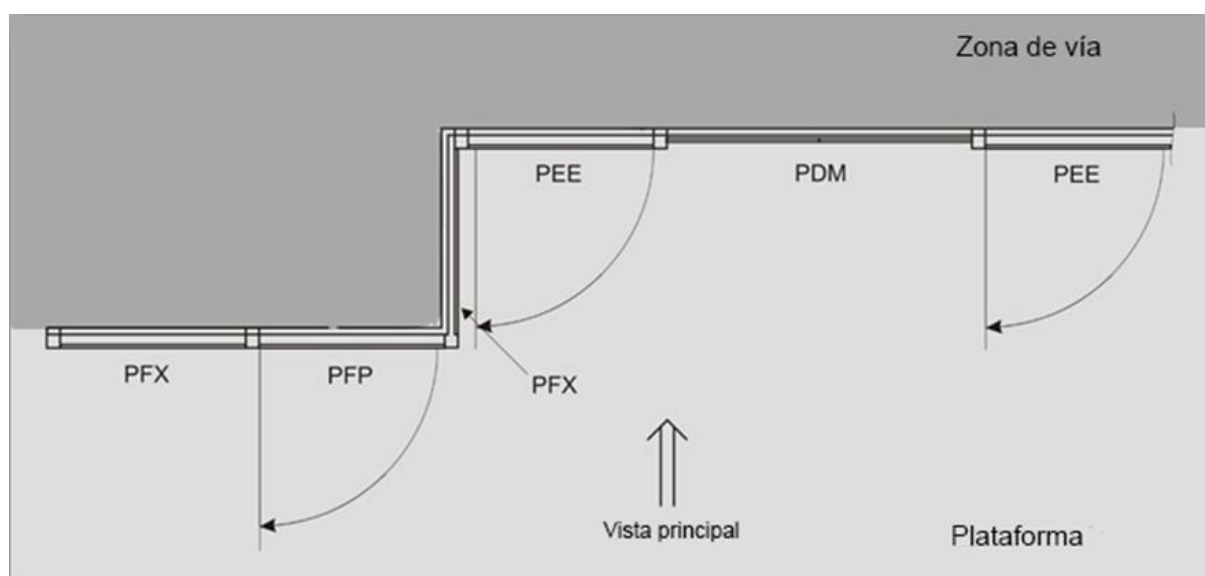
La altura total del sistema será de 2550mm desde el suelo hasta el punto más alto de la estructura.



**Figura 9: Módulos PSD principales como unidades individuales**

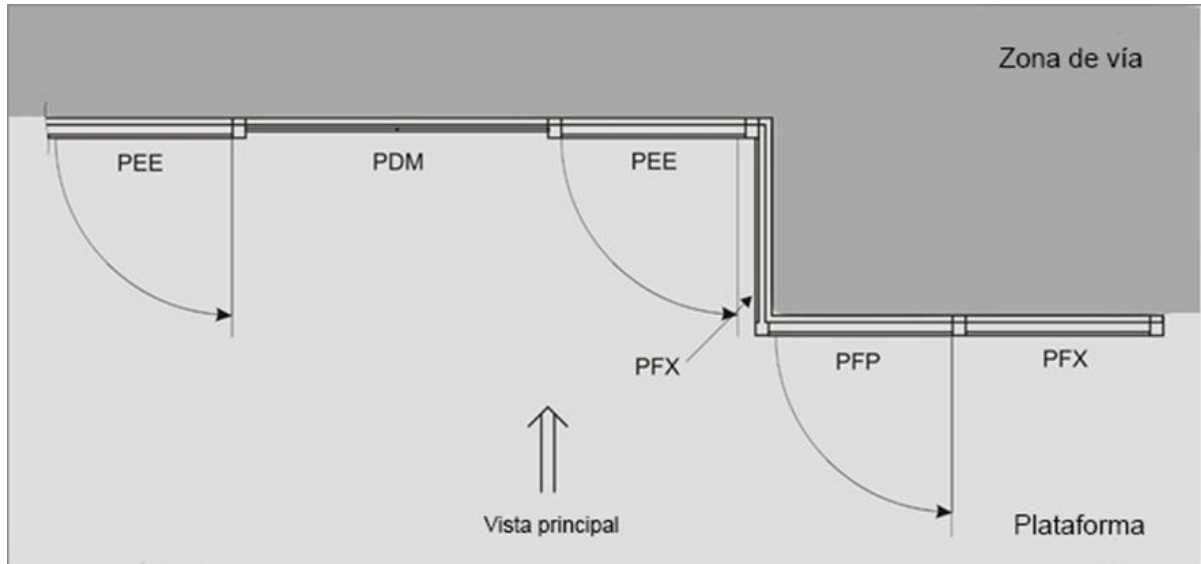
La disposición general a lo largo del andén será la siguiente:

- La Figura 10 muestra el lado izquierdo del final de la plataforma (lado izquierdo de una persona situada en el andén mirando hacia las vías). Se puede observar el módulo de puertas de final de plataforma PFP y el primer módulo de puertas automáticas PDM, con sus respectivas puertas de emergencia PEE.



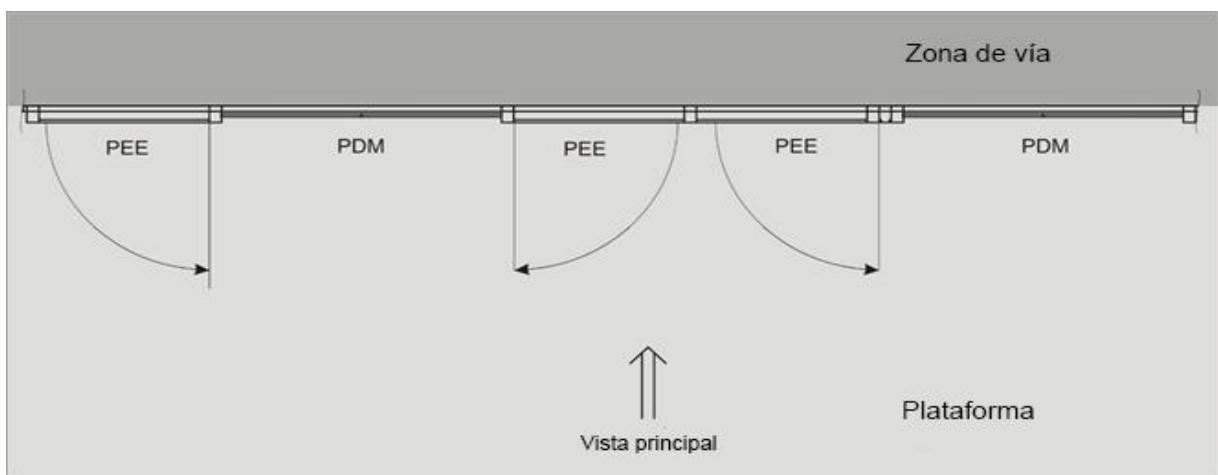
**Figura 10: Disposición de las PSD en el lado izquierdo de la plataforma**

- La Figura 11 muestra el lado derecho del final de la plataforma (lado derecho de una persona situada en el andén mirando hacia las vías). En la figura se muestra el módulo de puertas de final de plataforma PFP y el primer módulo de puertas automáticas PDM, con sus respectivas puertas de emergencia PEE.



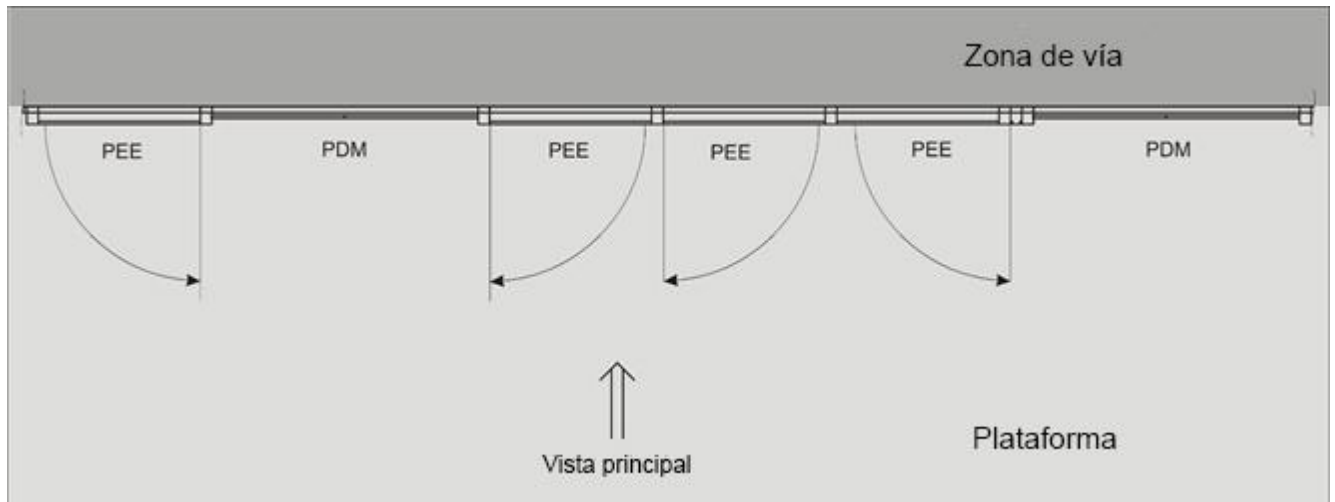
**Figura 11: Disposición de las PSD en el lado derecho de la plataforma**

- La Figura 12 muestra una sección típica de la zona de parada del tren, donde se sitúan las puertas automáticas PDM junto con sus puertas de emergencia PEE. Esta distribución se repetirá a lo largo de todo el andén.



**Figura 12: Disposición de las PSD en el área de parada de los trenes**

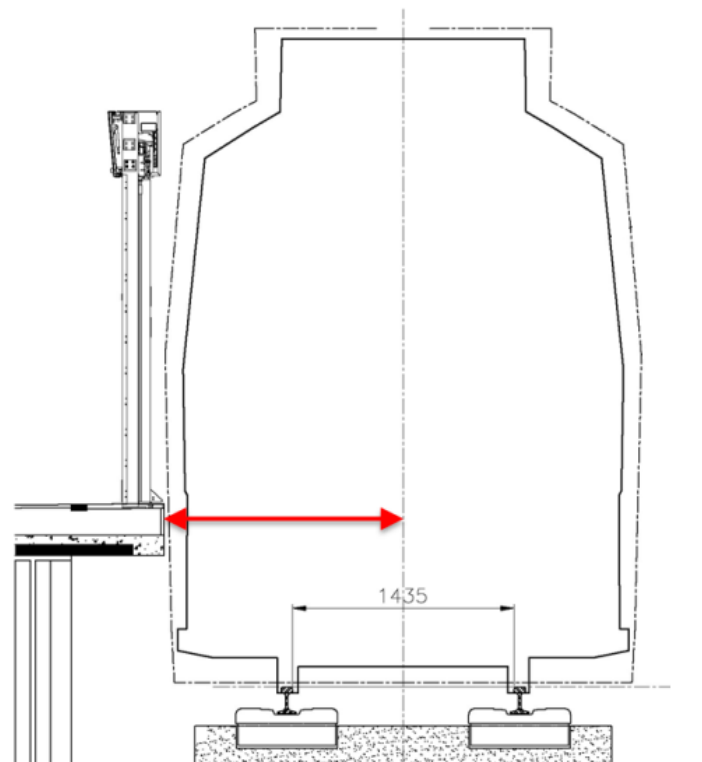
- Para el caso en el que los trenes no sean continuos, sino que sean vagones individuales, la Figura 13 muestra una sección típica de la zona de parada del tren, a la altura de la zona de acople, donde se instalará un módulo PEE de una sola hoja adicional para cubrir el hueco existente. De esta forma, todos los posibles puntos en los que pueden quedarse las puertas del tren están cubiertos o con puertas automáticas o con puertas de emergencia, lo que garantiza una eventual evacuación de emergencia



**Figura 13: Disposición de las PSD en la zona de acople**

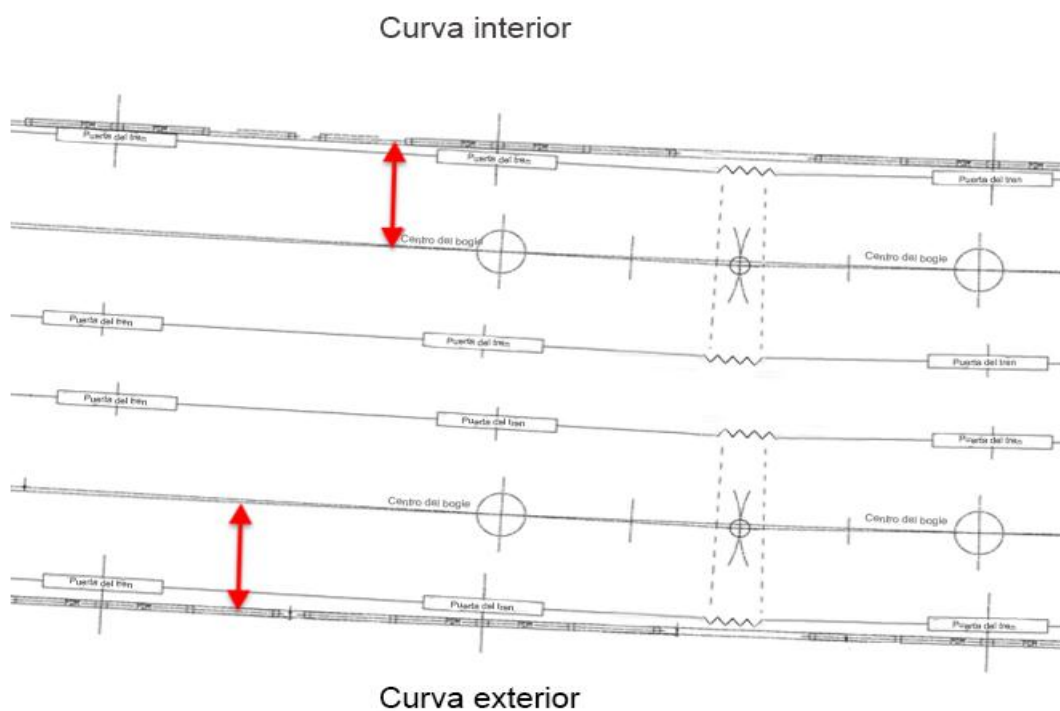
Todos los elementos de las PSD, excepto las puertas de acceso a las vías, estarán colocados a la misma distancia de la línea central de la vía, como se observa en la Figura 14.





**Figura 14: Vista de la distancia al centro de la vía en estaciones rectas**

Sin embargo, en estaciones curvas, con las plataformas siguiendo la línea de curvatura de la vía, la disposición de los elementos del sistema PSD seguirán esta línea curva, situándose de igual modo a la misma distancia del centro de las vías.



**Figura 15: Vista de la distancia al centro de la vía en estaciones curvas**

## 7.2 Concepto de tolerancia

La tolerancia es un concepto propio de la metrología industrial, que se aplica a la fabricación de piezas en serie. Dada una magnitud significativa y cuantificable propia de un producto industrial (sea alguna de sus dimensiones, resistencia, peso o cualquier otra), el margen de tolerancia es el intervalo de valores en el que debe encontrarse dicha magnitud para que se acepte como válida, lo que determina la aceptación o el rechazo de los componentes fabricados, según sus valores queden dentro o fuera de ese intervalo.

El propósito de los intervalos de tolerancia es el de admitir un margen para las imperfecciones en la manufactura de componente, ya que se considera imposible la precisión absoluta desde el punto de vista técnico, o bien no se recomienda por motivos de eficiencia: es una buena práctica de ingeniería el especificar el mayor valor posible de tolerancia mientras el componente en cuestión mantenga su funcionalidad, dado que cuanto menor sea el margen de tolerancia, la pieza será más difícil de producir y por lo tanto más costosa [15].

Además de una tolerancia de fabricación como cualquier producto realizado en serie, las PSD también deben cumplir una tolerancia a la hora del montaje, ya que de lo contrario el funcionamiento de éstas no será preciso y pueden llegar a producirse vibraciones no deseadas, fallos en el funcionamiento o incluso impedir el movimiento de las partes móviles. Esto es especialmente importante en las estaciones situadas en una curva, ya que los módulos son idénticos independientemente de en qué tipo de andén vayan a ser instalados.

Hay que tener en cuenta para un montaje óptimo que la posición de instalación sea lo más próxima posible a la posición especificada por el fabricante en diseño, ya que aunque la magnitud de medida de una tolerancia es muy pequeña, hay que evitar acumular desviaciones en la posición de montaje a lo largo de todo el andén, ya que la longitud de instalación de 130 metros.

Para hacer frente a todas estas tolerancias, la unión de cada módulo es capaz de compensar las tolerancias de los módulos adyacentes. De este modo, las desviaciones permitidas en la instalación quedan escondidas detrás de los postes verticales, como se puede ver en los ejemplos de la siguiente figura.

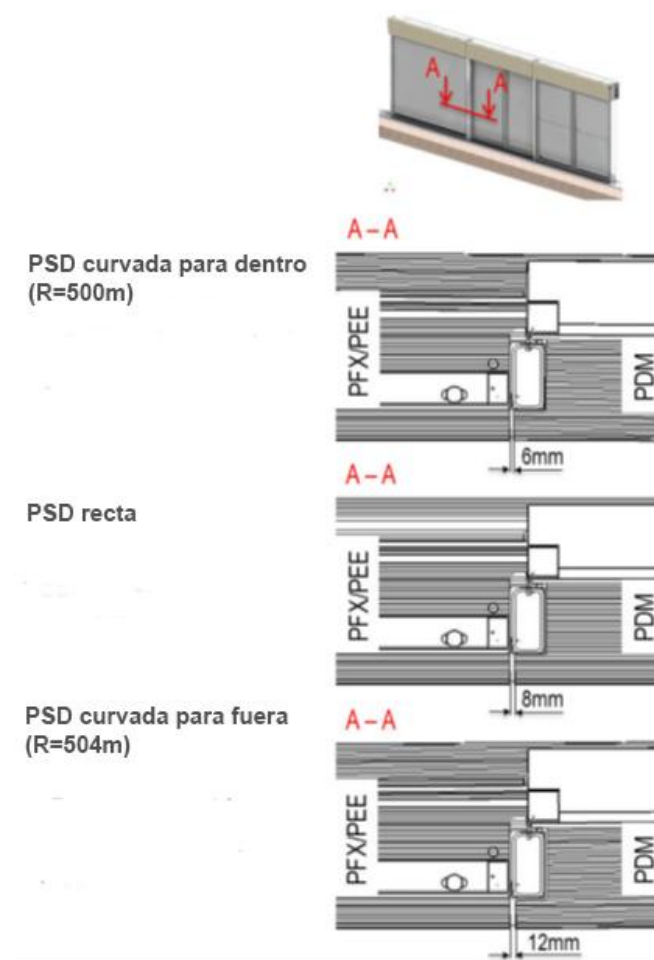


Figura 16: Compensación de tolerancias por detrás de los postes verticales

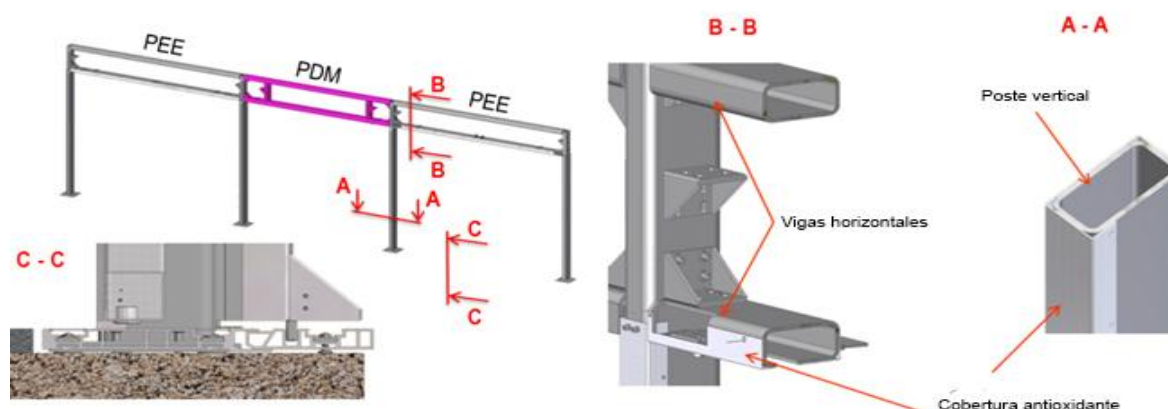
### 7.3 Estructura principal

La estructura de las PSD es una construcción de columnas y vigas realizadas en acero con un revestimiento de pintura anticorrosiva. Los módulos son unidos entre sí por medio de uniones atornilladas, lo que hace que su instalación sea más rápida y sencilla, permitiendo la combinación de los diferentes tipos de módulos.

La estructura se divide de la misma forma que los módulos principales (PFX, PEE y PDM) y adquiere su integridad total después de la instalación en el andén. La estructura es una de las partes que componen el módulo. Si los módulos se colocan en la secuencia correcta de instalación, la estructura resultante será autoportante.

Todas las partes de la estructura que van a quedar visibles después de realizar el montaje, son recubiertas mediante chapas de acero inoxidable por medio de remaches a las vigas y a las columnas. Este revestimiento sólo cumple una función estética y no realiza ninguna función estructural. Además, para evitar una corrosión galvánica de los remaches, estos son recubiertos mediante un material sellante.

La parte inferior de los postes verticales, que van anclados al suelo del andén, están constituidos por perfiles extruidos de aluminio anodizado. Ambos perfiles están firmemente atornillados a la plataforma de hormigón. El gran espacio existente entre los dos perfiles es para compensar el deslizamiento recto de la puerta PDM contra la curvatura de plataformas de andén curvadas.



**Figura 17: Estructura de columnas y vigas**



**Figura 18: Construcción inferior**

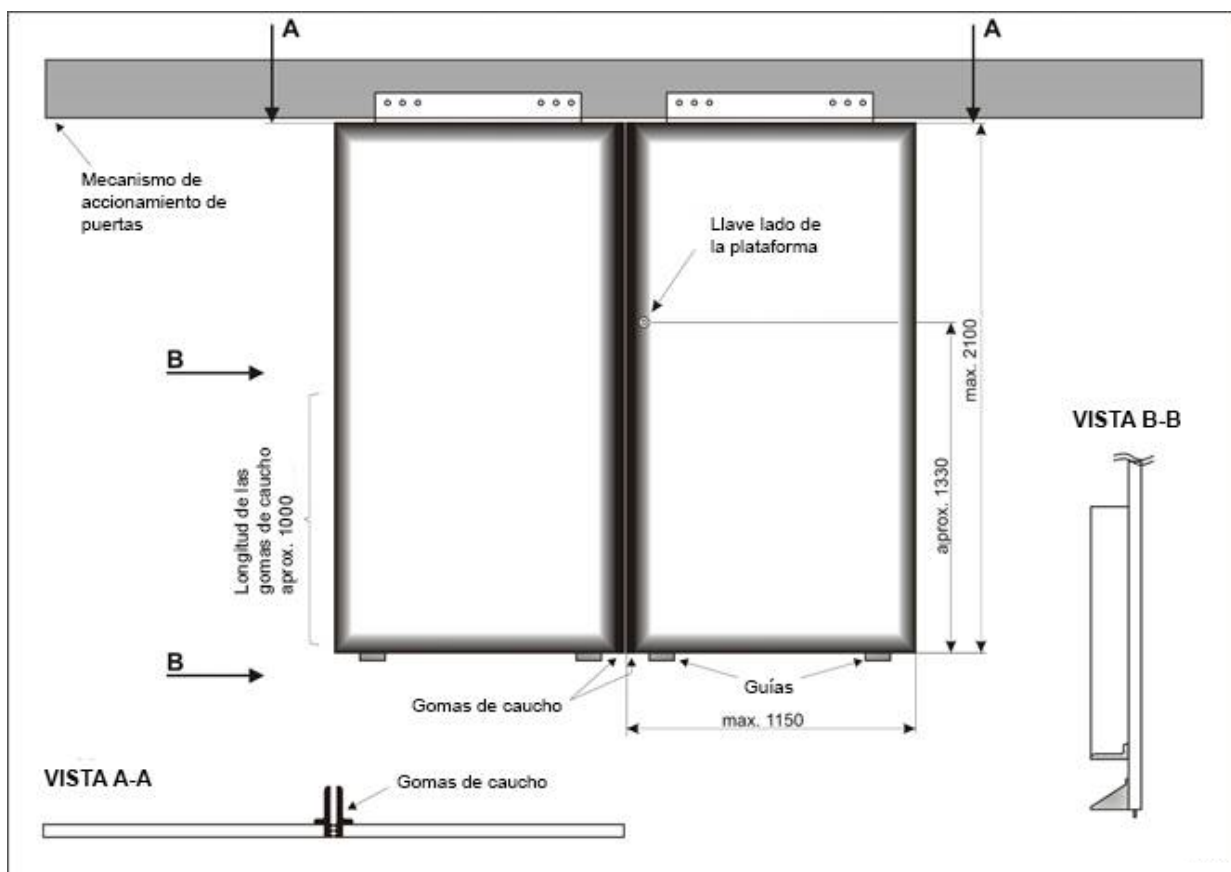
## 7.4 Módulo PDM. Puertas deslizantes motorizadas

La unidad PDM consiste en una puerta de dos hojas deslizantes de vidrio templado de 8mm de espesor, con un marco soldado de acero inoxidable. Estas hojas están fijadas al mecanismo de accionamiento de las puertas localizado en la caja superior (ver Figura 19).

La unión entre el vidrio y el marco se realiza mediante cinta adhesiva de doble cara VHB y alta resistencia. Para evitar posibles accidentes causados por la rotura del vidrio, en el lado correspondiente al andén, éste es cubierto con una película transparente de protección y seguridad.

Cada PDM tiene un sistema de bloqueo mecánico con sensores eléctricos para monitorizar el estado de las puertas. En la parte superior de la estructura, se instalarán unos LEDs que mostrarán en qué estado se encuentra cada puerta individual.

Para poder abrir las puertas manualmente desde el lado de la plataforma, cada módulo contará con una llave especial (llave cuadrada o equivalente).



**Figura 19: Puertas deslizantes PDM**

En modo de operación normal, las PDM se abren a la mitad si se acciona la llave manual. En el caso de que no haya alimentación eléctrica, el dispositivo de bloqueo de las PDM se desbloqueará la puerta y se abrirán manualmente.

El mecanismo de accionamiento de las puertas incluye un motor, un sistema de orientación, una unidad de control electrónica de la puerta y un sistema de bloqueo de seguridad.

La unidad de control electrónica de la puerta irá instalada en el interior del panel superior del módulo, sobre el mecanismo de accionamiento de la misma.

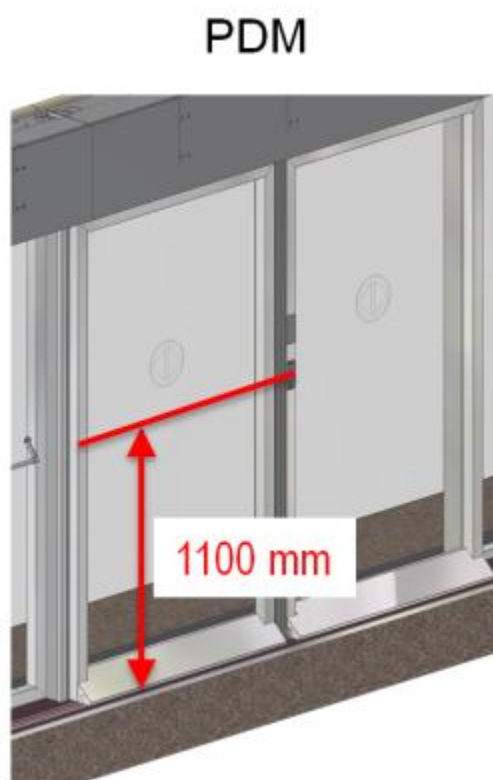
El motor está montado también en la caja superior del módulo PDM, conectado al mecanismo de accionamiento de la puerta. Esta conexión se realizará por medio de una correa dentada, que garantiza un movimiento suave y silencioso de las partes móviles.

Para impedir que durante el cierre de las puertas, una persona pueda quedar atrapada en el hueco existente entre el final de la plataforma y las puertas de andén, se dispondrá de unas gomas de caucho en la zona central de las puertas de 1 metro de altura. Estas gomas cubrirán la zona central de este hueco y evitarán que alguna persona u objeto puedan quedar atrapadas. En el caso de encontrarse algún impedimento, se impediría el cierre de la puerta y por tanto el movimiento del tren.

Por el mismo motivo, se instalarán unos protectores en forma de cuña para la zona del suelo, que evitarán que cualquier persona u objeto puedan acceder al hueco existente entre las puertas de andén y el final de la plataforma en caso de que por algún fallo en el sistema, se abra la puerta del tren sin abrirse el módulo PDM.

Además, se podrá realizar una apertura manual desde el lado de la vía. Las puertas PDM presentan una manecilla para la apertura manual en caso de que se tenga que realizar una apertura de emergencia (Figura 20), por ejemplo, por una falta de energía en el sistema. La altura de instalación de la manecilla está de acuerdo con la norma UNE-EN 179:2009.

La fuerza para desbloquear manualmente la puerta PDM debe ser inferior a 80N, y la fuerza necesaria para abrirla debe ser inferior a 120N.



**Figura 20: Apertura de emergencia puerta PDM**

Todo el sistema de puertas automáticas (incluyendo el mecanismo de accionamiento de la puerta y la unidad de control DCU) contará con un sistema de detección de obstáculos que será capaz de detectar obstáculos en la puerta mayores a 8 mm cuando la puerta se está cerrando.

En el momento del cierre, este dispositivo deberá detectar, en cualquier punto a lo largo de la zona de cierre de las puertas:

- Un obstáculo redondo de 20 mm o mayor.
- Un obstáculo plano de 8 mm de espesor.

## 7.5 Módulo PEE. Puertas batientes

Las puertas batientes o puertas de emergencia existen principalmente para desalojar el tren o la zona de vía en caso de emergencia. La unidad PEE consiste en un panel compuesto por una puerta de hoja simple o doble, de cristal templado de 8 mm de espesor, con un marco soldado de acero inoxidable. Las hojas de las puertas están unidas al resto de la estructura PSD por medio de bisagras apropiadas para poder abrirlas manualmente.

La unión entre el vidrio y el marco se realiza mediante cinta adhesiva de doble cara VHB y alta resistencia. Para evitar posibles accidentes causados por la rotura del vidrio, en el lado correspondiente al andén, éste es cubierto con una película transparente de protección y seguridad.

Cada PEE tiene un sistema de bloqueo mecánico con sensores eléctricos para indicar el estado de las puertas. Un cerrador integrado en la puerta asegura que la puerta está realmente cerrada. En la parte superior de la estructura, se instalarán unos LEDs que mostrarán en qué estado se encuentra cada puerta individual.

Para poder abrir las puertas manualmente desde el lado de la plataforma, cada módulo contará con una llave especial (llave cuadrada o equivalente).

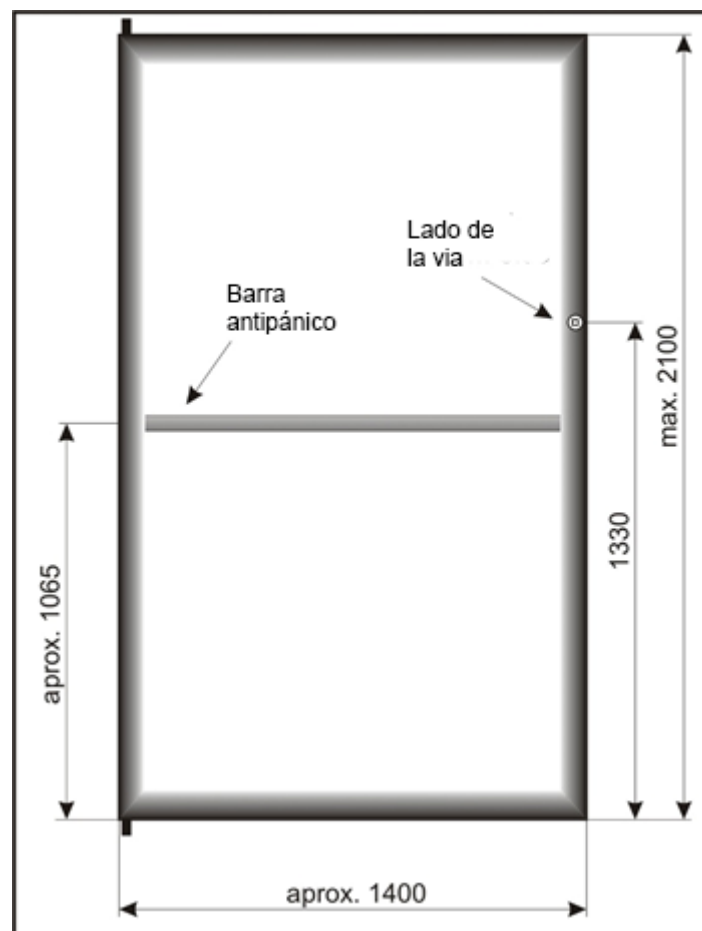


Figura 21: Puerta PEE



En el lado de las vías, las puertas PEE presentan una barra antipánico horizontal para abrir las puertas en caso de emergencia (ver Figura 25). La altura de la barra está de acuerdo con la norma UNE-EN 179:2009.



**Figura 22: Apertura de emergencia puerta PEE**

Si la puerta se encuentra abierta completamente, es decir, está abierta un ángulo de  $90^\circ$ , permanecerá en esta posición. Si la puerta recibe un pequeño impulso o se abre un ángulo menor de  $90^\circ$ , volverá al estado de cerrada y bloqueada automáticamente.

Cuando se presiona la barra antipánico, es decir, se abre la puerta desde el lado de las vías, se envía una señal al sistema de control de puertas en el centro de control.

Del mismo modo, si la apertura de la puerta se realiza desde el lado de la plataforma, se envía la señal al sistema de control de que las puertas se han abierto.

La fuerza para desbloquear manualmente la puerta PFP debe ser inferior a 80N, y la fuerza necesaria para abrirla debe ser inferior a 120N.

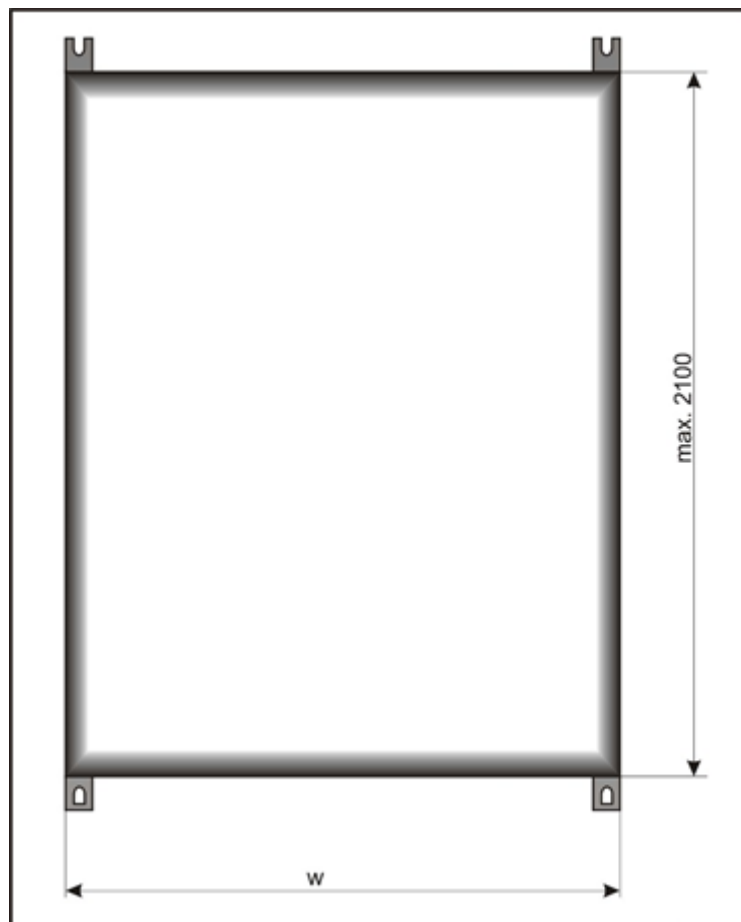
## 7.6 Módulo PFX. Panel de vidrio

El panel de vidrio PFX consiste en un panel de cristal templado de 8 mm de espesor que está unido a un marco soldado de acero inoxidable. Se utiliza principalmente para cerrar los espacios abiertos entre los módulos PDM y PEE.

El panel se une al resto de la estructura PSD por medio de tornillos. El vidrio es capaz de ser sustituido sin que afecte a la estructura principal y sin la necesidad de desmontar la estructura PFX del conjunto estructural. Para evitar posibles accidentes causados por la rotura del vidrio, en el lado correspondiente al andén, éste es cubierto con una película transparente de protección y seguridad.

La unión entre el vidrio y el marco se realiza mediante cinta adhesiva de doble cara VHB y alta resistencia.

Las dimensiones de los paneles fijos serán aproximadamente  $w \times 2100$  mm (largo x alto) siendo “w” un valor que depende del hueco existente que se quiera cubrir, pero nunca mayor de 2000mm.



**Figura 23: Panel de vidrio PFX**

## **7.7 Modulo PFP. Puerta de final de plataforma**

Las puertas de final de plataforma existen principalmente para permitir el acceso a la vía en casos de emergencia, bien sea por evacuación de pasajeros o para personal de mantenimiento de la estación.

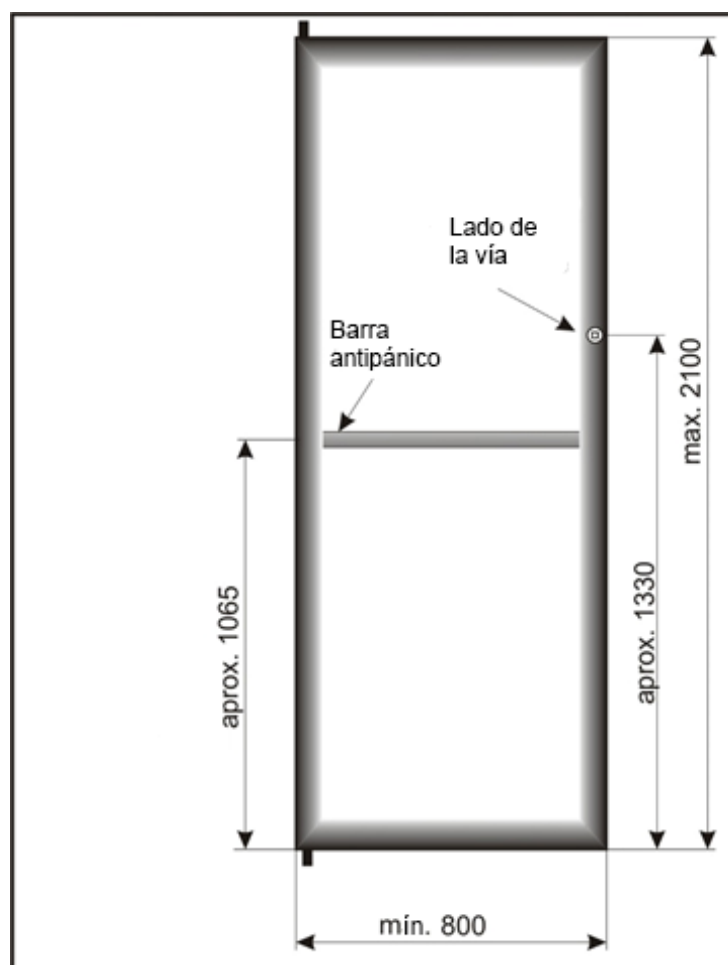
Los paneles serán una variante de los módulos PEE. La unidad PFP consiste en un panel compuesto por una puerta de hoja simple o doble de cristal templado de 8 mm de espesor, con un marco soldado de acero inoxidable. Las hojas de las puertas están unidas al resto de la estructura PSD por medio de bisagras apropiadas para poder abrirlas manualmente.

Cada PFP, al igual que cada módulo PEE, tiene un sistema de bloqueo mecánico con sensores eléctricos para indicar el estado de las puertas. Un cerrador integrado en la puerta asegura que la puerta está realmente cerrada. En la parte superior de la estructura, se instalarán unos LEDs que mostrarán en qué estado se encuentra cada puerta individual.

La unión entre el vidrio y el marco se realiza mediante cinta adhesiva de doble cara VHB y alta resistencia.

Para evitar posibles accidentes causados por la rotura del vidrio, en el lado correspondiente al andén, éste es cubierto con una película transparente de protección y seguridad.

Las dimensiones físicas de los paneles PFP deben ser al menos de 800 x 2100 mm (ancho x alto), para asegurar una apertura de al menos 80 cm de anchura.



**Figura 24: Puerta PFP**

En el lado de las vías, las puertas PFP presentan una barra antipánico horizontal para abrir la puerta en caso de emergencia (ver Figura 25). La altura de la barra está de acuerdo con la norma UNE-EN 179:2009.

## PEE / PFP



**Figura 25: Puerta de emergencia PFP**

En el lado del andén, la puerta se abrirá mediante una llave especial (por ejemplo una llave cuadrada o equivalente).

Si la puerta se encuentra abierta completamente, es decir, está abierta un ángulo de  $90^\circ$ , permanecerá en esta posición. Si la puerta recibe un pequeño impulso o se abre un ángulo menor de  $90^\circ$ , volverá al estado de cerrada y bloqueada automáticamente.

Cuando se presiona la barra antipánico, es decir, se abre la puerta desde el lado de las vías, se envía una señal al sistema de control de puertas en el centro de control.

Del mismo modo, si la apertura de la puerta se realiza desde el lado de la plataforma, se envía la señal al sistema de control de que las puertas se han abierto.

La fuerza para desbloquear manualmente la puerta PFP debe ser inferior a 80N, y la fuerza necesaria para abrirla debe ser inferior a 120N.

## 7.8 Mecanismo de accionamiento de las PDM

Todos los elementos del mecanismo de accionamiento de las PDM son fijados a una placa de soporte. Esta placa está realizada mediante extrusión de aluminio anodizado. Sus dimensiones son:

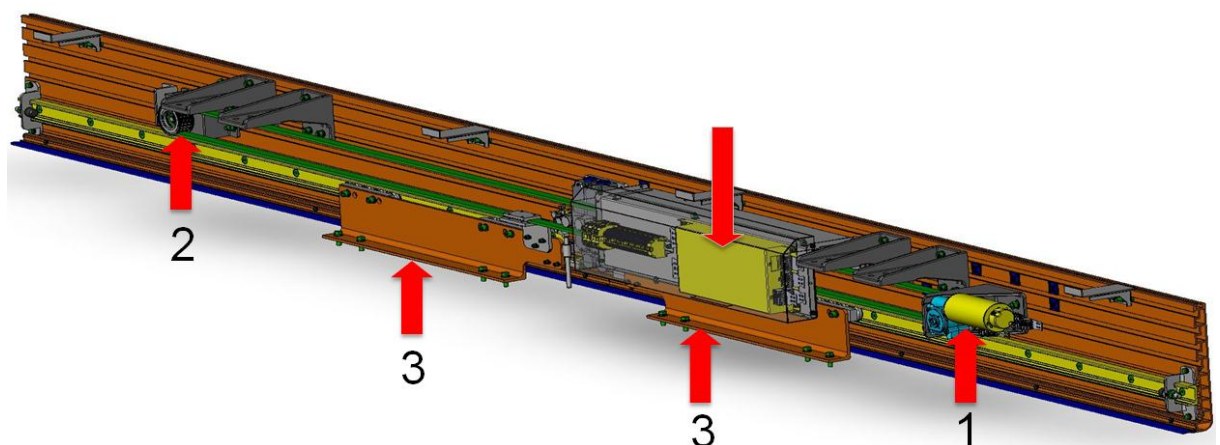
- Longitud total: 4005mm
- Altura: 300 mm
- Profundidad: 210 mm
- Apertura de la entrada: 2305 mm

Todo el equipamiento eléctrico está de acuerdo a la norma UNE-EN 50155 para aplicaciones ferroviarias. La tensión nominal del actuador es de 24 VdC (-30% / +25%) y el motor funciona mediante corriente continua permanentemente energizado.

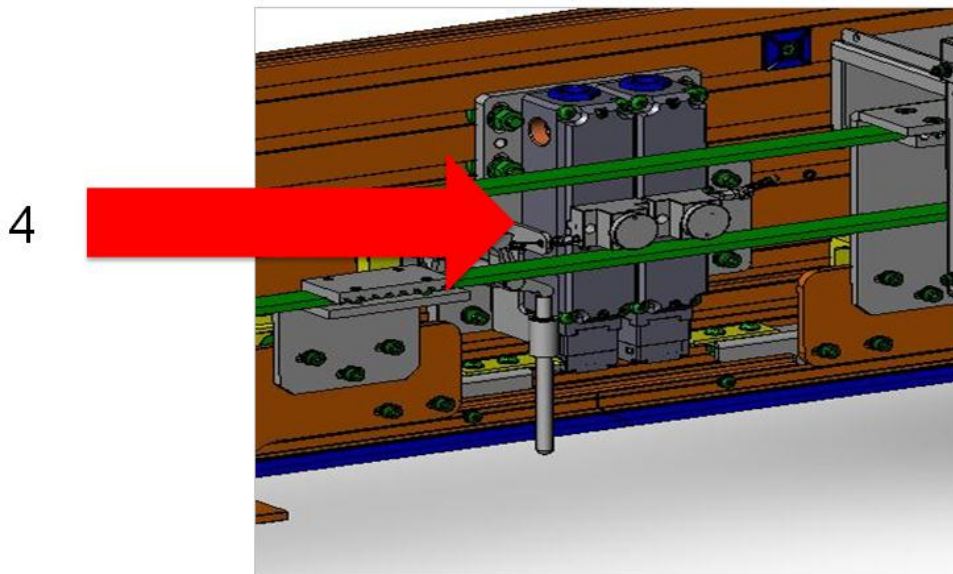
El mecanismo de accionamiento de las PDM consiste en las siguientes partes funcionales (ver Figura 26 y Figura 27):

1. Unidad de accionamiento, que incluye el motor de corriente continua, los engranajes, poleas y base del motor.
2. Correa de transmisión, que incluye la correa y el tensor.
3. La unidad guía que incluye los rodillos, los carriles y el soporte de la puerta.
4. Dispositivo de bloqueo, que incluye el adaptador de desbloqueo de emergencia.

El cubrimiento superior permite el acceso sin restricciones al mecanismo de accionamiento de las PDM. Esto permite que todos los elementos que forman parte del mecanismo de accionamiento puedan ser fácilmente sustituidos en el acto.



**Figura 26: Mecanismo de accionamiento PDM**



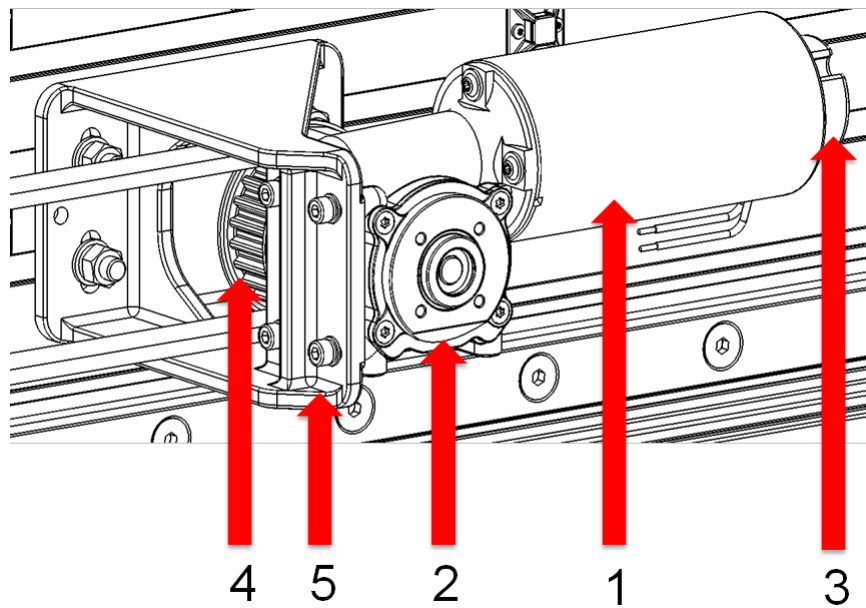
**Figura 27: Dispositivo de bloqueo que incluye el adaptador de desbloqueo de emergencia**

### **7.8.1 Unidad de accionamiento**

El motor DC es directamente accionado por la Unidad de Control de Puertas. La DCU (Unidad de Control de Puertas/Door Control Unit) recibe por parte del Encoder, la posición angular en cada momento del motor, por tanto la DCU conoce tanto la posición como la velocidad de la puerta, calculados a partir de la posición angular. El engranaje al que va unido es un engranaje especial de bajo ruido, al que va unido una correa de material sintético.

La unidad de control DCU se compone de los siguientes elementos:

1. Motor-DC
2. Engranaje
3. Encoder.
4. Polea de accionamiento
5. Base del motor



**Figura 28: Unidad de accionamiento DCU**

### 7.8.2 Unidad guía

Los rodamientos a utilizar serán un tipo de rodamiento que no necesitan mantenimiento debido a que se mantienen lubricados durante toda su vida útil. Esto es debido gracias a que es capaz de lubricar el sistema cuando está funcionando. Está realizado en acero al carbono, con los raíles endurecidos por inducción y la chapa exterior está tratada electrolíticamente con zinc de acuerdo a la norma ISO 2081.



**Figura 29: Unidad guía**



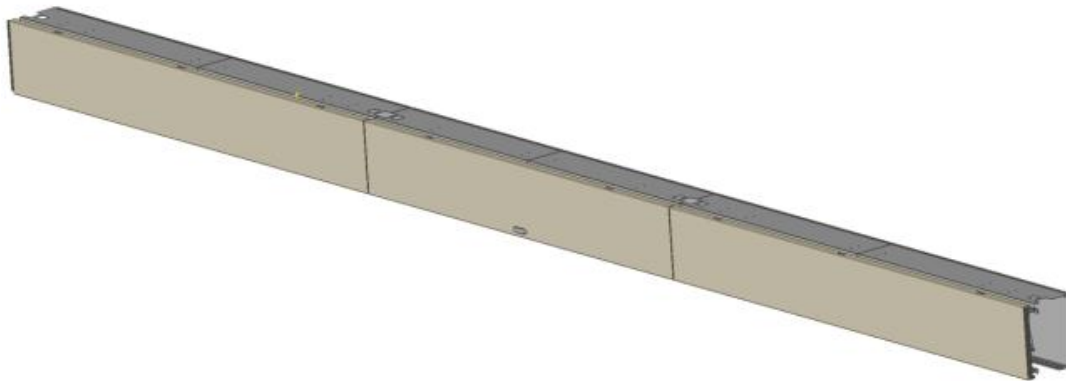
## 7.9 Caja superior

La caja superior consiste en una cubierta de planchas de aluminio recubierto con pintura, que protegen los mecanismos de movimiento de las puertas y el cableado.

En la parte superior y en la parte de la vía, la caja estará compuesta por paneles fijos, que puede componerse de varias piezas o de una sola.

Por el lado de la plataforma, la cubierta posee unas bisagras en la parte superior, por lo que no hace falta desmontarla para poder acceder a las unidades de accionamiento de las PDM o a los dispositivos de cierre de las PEE / PFP. Estos paneles deberán permanecer abiertos y en la posición deseada sin retornar a su posición hasta que la operación se realice manualmente.

Para poder albergar los equipos y cableado necesario, la caja superior de la estructura tendrá una altura mínima de 450 mm y una profundidad mínima de 300 mm.



**Figura 30: Caja superior**

## 7.10 Refuerzo estructural

Para que no sea el andén el que soporte todo el peso de las PSD, como continuación de las vigas horizontales de los módulos, existirán unas vigas verticales que irán desde la parte inferior del andén hasta el suelo en la zona de las vías. Esto garantizará que el final de la plataforma no colapse como consecuencia del nuevo peso introducido en la parte final del mismo.

## 7.11 Suelo de la estructura

El suelo de la estructura PSD tiene tres funciones principales:

- Constituir el interfaz con el final del suelo de la plataforma.
- Actuar de guía para las PDM.
- Proporcionar una transición segura para las personas que entran o salen de los trenes.

El suelo está constituido por varias láminas de aluminio extruido, con un acabado natural y con los bordes redondeados para evitar posibles daños a los pasajeros. Además, se realizarán surcos en las partes lisas para evitar que la superficie sea deslizante. No obstante, si se desea se pueden colocar tiras adhesivas antideslizantes como mayor medida de seguridad.

En la parte correspondiente a la puerta PDM, el suelo estará acanalado y servirá de guía para el deslizamiento de las puertas, provocando que el movimiento sea lineal, actuando de sujeción inferior de las mismas y proporcionando una resistencia a la fricción mínima al movimiento de la puerta.

Este suelo deberá estar alineado con el suelo de la plataforma, con una desviación de  $\pm 3$  mm, lo que evitará desniveles que pueden ser peligrosos durante el intercambio de pasajeros. Además, deberá ser posible reemplazar el suelo sin tener que desmontar ninguno de los módulos de la estructura.

## 7.12 Cuadro de control local (LCB)

El cuadro de control local permite el funcionamiento eléctrico de una puerta automática individual. Para este fin, el dispositivo contiene 2 interruptores de llave (ver Figura 31), uno de 3 posiciones y otro de 4 posiciones. El dispositivo está situado en la zona superior de la PDM. La llave del LCB será una llave especial y específica acordada con la empresa propietaria de la instalación.



**Figura 31: Cuadro de control local**

Las posiciones del primer interruptor determinan el comando para la puerta:

- Cerrar
- Neutro
- Abrir

Las posiciones del segundo interruptor servirán para elegir el modo de operación de la puerta:

- Aislado
- Modo automático
- Modo manual
- Mantenimiento

### 7.12.1 Modo aislado

Al colocar el interruptor de llave en esta posición, la puerta quedará aislada del sistema y no responderá más a las órdenes de apertura o cierre que le lleguen desde el sistema de señalización o desde el sistema de control auxiliar  $AUX_{BK}$ . En este modo, la señal de puerta cerrada y bloqueada funcionará de acuerdo al estado actual de la puerta.

### 7.12.2 Modo manual

Cuando el interruptor de llave se sitúa en modo manual, la puerta será controlada manualmente mediante el uso del primer interruptor. En este modo, la señal de puerta cerrada y bloqueada funcionará de acuerdo al estado actual de la puerta.

### **7.12.3 Modo mantenimiento**

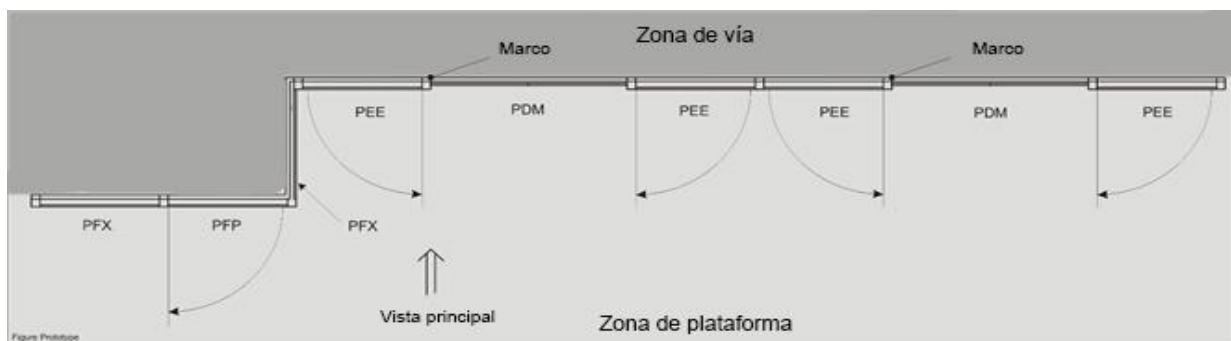
En el modo mantenimiento, la puerta se controlará de manera manual, y al igual que para el modo manual, se hará mediante el uso de la primera llave. Pero, en este caso, la señal de puerta cerrada y bloqueada será ignorada, considerando siempre que la puerta está cerrada.

### 7.13 Unidad prototipo

La unidad prototipo será sobre la cual se realicen todas las pruebas para comprobar que el diseño de la estructura cumple con las condiciones de seguridad y funcionamiento. Se instalará en uno de los extremos de la plataforma de una estación, y estará compuesto por:

- Todos los elementos de fijación correspondientes.
- Un módulo PED.
- Dos módulos PDM.
- Dos módulos PEE con apertura hacia el lado izquierdo.
- Dos módulos PEE con apertura hacia el lado derecho.
- Armario de control central.
- Batería para suministro de energía.
- Un equipo PCM.
- Mecanismos de accionamiento de las puertas automáticas.

El prototipo no será utilizado durante el horario comercial, y por tanto estará desconectado de la fuente eléctrica y sus puertas permanecerán abiertas para el libre intercambio de pasajeros entre el tren y el andén. Las pruebas se realizarán por tanto en horario nocturno, cuando la estación está fuera del horario de operación comercial.



**Figura 32: Unidad prototipo**

## 8 PRUEBAS DE VALIDACIÓN MECÁNICA

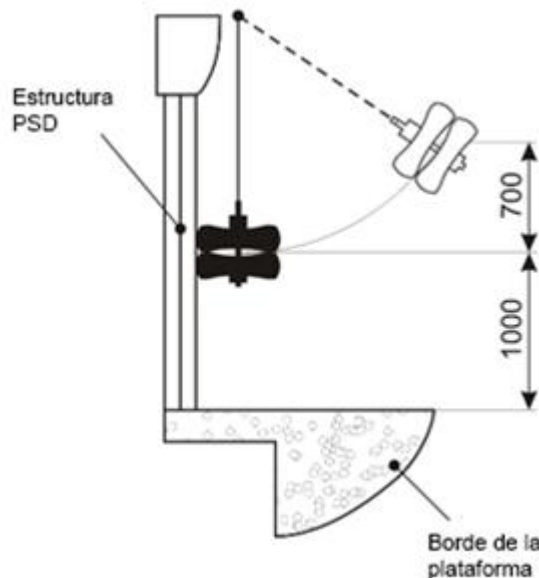
### 8.1 Fuerzas y presiones

#### 8.1.1 Test de choque

De acuerdo con la norma EN12600 los cierres y el vidrio de los módulos PDM, PEE y PFP, deben soportar un test de impacto.

Este test consistirá en lanzar una masa de 50 kg desde una altura de 700mm desde el lado de la plataforma contra:

- El centro de los módulos PDM y PEE, en el lugar donde se efectúa el cierre.
- El centro del vidrio en los módulos PDM, PEE, PFX y PFP.



**Figura 33: Test de choque**

Estas pruebas se deben realizar sobre un módulo individual PDM, PEE y PFP cualquiera y sobre el módulo PFX de mayor longitud, montados en un bastidor específico para tests.

El criterio de admisión será el cumplimiento de estas dos condiciones:

- Las puertas pueden seguir operando con normalidad, tanto de manera automática como manual.
- El vidrio no se rompe.

El test se realiza desde el lado de la plataforma ya que es el lugar donde van a estar situados los pasajeros y desde donde el cual puede sufrir eventuales golpes, por lo que debe garantizar la seguridad en todo momento.

### 8.1.2 Test de fatiga

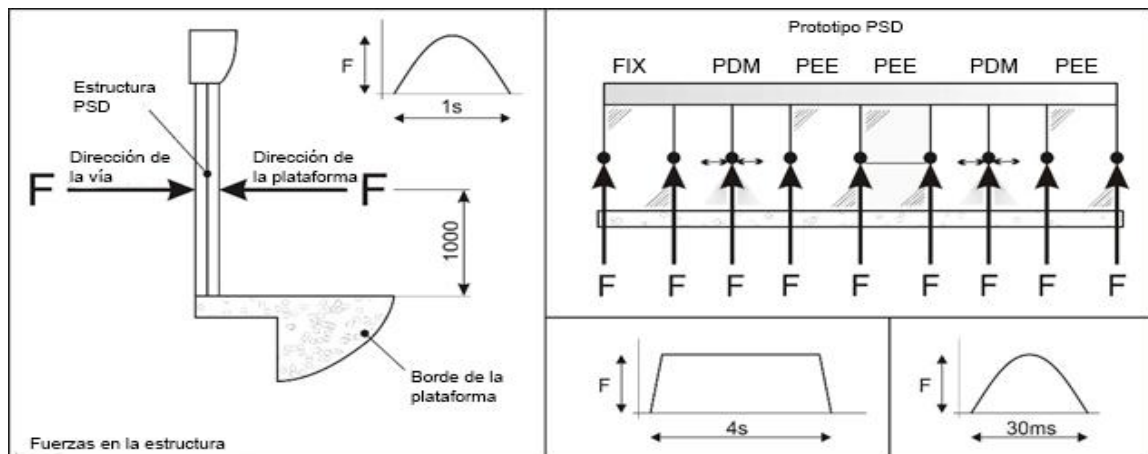
La estructura de las PSD debe pasar satisfactoriamente un test de fatiga, que simulará un tiempo de vida de 30 años.

La estructura debe ser capaz de soportar 3 tipos de cargas y ciclos diferentes a lo largo de su vida útil:

- Cargas de 300 N en la dirección de la plataforma: 200.000 ciclos al año.
- Cargas de 200 N en la dirección de la vía: 200.000 ciclos al año.
- Cargas de 700 N desde la vía (de abajo a arriba): 100 ciclos al año.

Para simular el tiempo de vida de 30 años, el ensayo debe ser efectuado sobre una estructura prototipo, que no podrá usarse después en operación comercial.

En cada columna se colocará un generador de cargas, que deberá aplicar la carga especificada de manera simultánea. Las cargas se aplicarán para una misma sección de  $15 \text{ mm}^2$  y para una altura de 1 metro desde el suelo, a lo largo de toda la plataforma. Cada ciclo tendrá una duración de 1 segundo y entre ciclo y ciclo se realizará una pausa de 2 segundos.



**Figura 34: Fuerzas en la estructura**

La carga que se probará será la misma que tendrá que soportar la estructura, así los test serán:

- 300 N durante 7 días para simular a)
- 200 N durante 7 días para simular b)
- 700 N durante 1 día para simular c)

El criterio de aceptación será no encontrar ninguna deformación permanente en la estructura una vez finalizado el ensayo, y las puertas puedan abrir y cerrar de forma manual y automática.

### 8.1.3 Test de carga

Se realizará una prueba de carga para comprobar que el funcionamiento de las puertas no se ve afectado. Se realizarán dos pruebas diferentes.

1. Aplicar una fuerza de 200 N/m a lo largo de la estructura durante el funcionamiento de las puertas. Esta fuerza de 200 N/m se aplicará a una altura de 1 m del suelo de la plataforma, en cada uno de los extremos de cierre de los módulos PDM como se muestra en la Figura 34 (cuando la puerta se encuentra cerrada). La fuerza se aplicará simultáneamente en toda la estructura durante los ciclos de apertura y cierre de las puertas.

En este caso, para considerar que la prueba se ha superado satisfactoriamente, la velocidad de movimiento de la puerta no se verá afectada en más de un 30%.

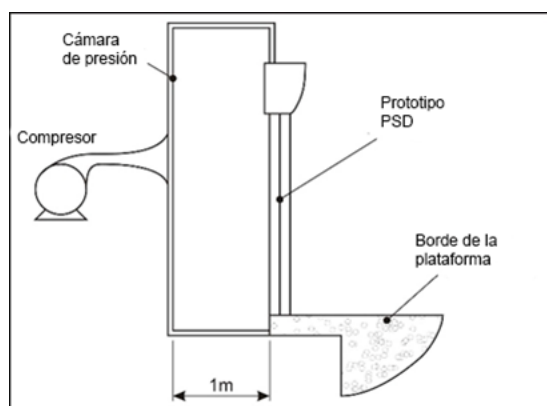
2. Aplicar una fuerza de 1500 N/m en la dirección de la plataforma a lo largo de la estructura. La fuerza se aplicará durante 4 segundos a una distancia de 1 metro desde el suelo de la plataforma como se muestra en la Figura 34, aplicada simultáneamente en varios puntos de la estructura separados entre ellos por una distancia de 1 metro aproximadamente, en las zonas apropiadas de aplicación (puntos estructurales).

Para considerar que la prueba se ha superado, no debe presentarse una deformación permanente en puntos de la estructura.

### 8.1.4 Test de presión

La estructura deberá soportar una prueba en la que se probará la resistencia de la estructura a los cambios de presión que pueden producir los trenes al entrar en las estaciones.

Para esta prueba se aislará la estructura, colocando una cámara de presión de aire en el lado de la vía (ver ). Por medio de un compresor, se introducirá aire en la cámara hasta alcanzar una presión de 400 Pa. La curva de presión deberá tener la forma de media onda sinusoidal y tener una duración total de 10 segundos.



**Figura 35: Test de presión**

Para considerar que la prueba se ha superado satisfactoriamente, no deberá producirse ninguna deformación permanente en ningún punto de la estructura como consecuencia del ensayo.



## 9 INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA

### 9.1 Panel de control Manual (PCM)

Para la observación y el control de las puertas desde el andén, se instalarán dos dispositivos PCM en los extremos del andén. El panel PCM estará compuesto por las siguientes partes:

- **Llave de activación PCM:** Sirve para activar el control de las puertas mediante el PCM. Por norma general, las puertas funcionarán controladas por el sistema de señalización CBTC, y el PCM solamente proporciona informaciones sobre el PSD. Cuando se activa el PCM por medio de la llave, se obtendrá el control de las puertas por medio de los botones del panel. El sistema CBTC o el sistema AUX<sub>BK</sub> dejan de controlar las PSD. En la posición PCM habilitado, no es posible extraer la llave.
- **Botón “Aislamiento”:** Cuando se presiona este botón, durante el tiempo que éste se mantenga pulsado, la señal de “Todas las puertas cerradas y bloqueadas”, enviada al sistema de señalización, estará activa, independiente del estado físico de las puertas.
- **Botón “Test de luces”:** Mediante este botón se comprueba que las luces de los botones que indican el estado de las puertas, funcionan correctamente. Las luces permanecerán encendidas el tiempo que se mantenga el botón de test pulsado.
- **Botón de “Abrir puertas”:** Una vez habilitado el panel por medio de la llave, al presionar este botón se genera la señal necesaria para que se abran las puertas PDM de ese lado del andén.
- **Botón de “Cerrar puertas”:** Una vez habilitado el panel por medio de la llave, al presionar este botón se genera la señal necesaria para que se cierren las puertas PDM de ese lado del andén.
- **Llave de activación del sistema AUX<sub>BK</sub>:** Cuando se activa esta llave, el sistema de señalización deja de controlar el sistema PSD. Entonces es el sistema Backup, independiente del sistema CBTC, el que toma el control de las puertas. Esta llave es totalmente independiente de la llave de activación del PCM y puede activarse sin activar el PCM.
- **Indicador “Puertas cerradas”:** Este indicador se encenderá cuando todas las PDM se encuentren cerradas y bloqueadas. Si alguna puerta permanece abierta o no se ha bloqueado correctamente, este indicador no se iluminará.
- **Indicador “Puertas de acceso a vía”:** Este indicador se encenderá cuando todas las PFP se encuentren cerradas y bloqueadas. Si alguna puerta permanece abierta o no se ha bloqueado correctamente, este indicador no se iluminará.
- **Indicador “Puertas de Emergencia”:** Este indicador se encenderá cuando todas las puertas de emergencia se encuentren cerradas y bloqueadas. Si alguna puerta permanece abierta o no se ha bloqueado correctamente, este indicador no se iluminará.

- **Indicador “Panel habilitado”:** Este indicador se encenderá cuando este PCM se encuentre habilitado. No es posible que los dos paneles de un mismo lado del andén estén activos a la vez.
- **Indicador “Otro Panel habilitado”:** Este indicador se encenderá cuando el PCM del otro extremo del andén se encuentre habilitado. No es posible que los dos paneles de un mismo lado del andén estén activos a la vez.
- **Indicador “Puertas Aisladas”:** Este indicador se encenderá cuando cualquiera de los paneles se encuentre habilitado y se pulse el botón “Aislamiento” en el PCM habilitado. El indicador se iluminará mientras el botón se mantenga presionado.
- **Pantalla táctil:** Mediante la pantalla táctil se podrá acceder a distintos menús que proporcionarán información más detallada de cada una de las puertas de manera individual. El software y la información disponible será el mismo que el que se puede encontrar en el ordenador de la sala de control. Será posible la conexión con un PC mediante un puerto serie.

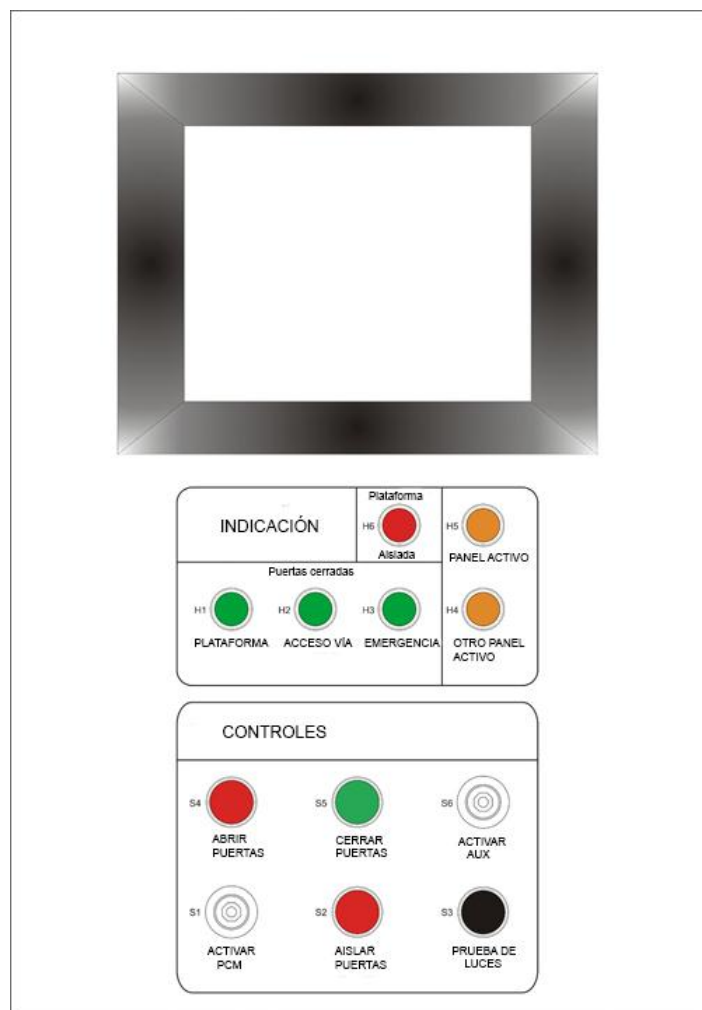


Figura 36: Panel PCM

## 9.2 Panel de control central (PCC)

Para observar el estado del sistema PSD, en la sala de control se instalará el Panel de Control Central. Para cada una de las plataformas, se instalará un panel de control individual.

La estructura será similar a la de los PCM instalados en los andenes. Con el PCC se podrá visualizar el estado del sistema mediante unos indicadores. Además de las indicaciones mostradas en el PCM, en el panel de control central se podrá observar:

- **Indicador de “Fallo de sistema”:** Este indicador se iluminará cuando se presente algún error en el sistema que impida la apertura automática de las puertas por medio del sistema de señalización.
- **Indicador de “Fallo de energía”:** Este indicador se iluminará cuando las PSD sufran un fallo en el suministro de energía eléctrica, lo que impedirá su funcionamiento.

Además, el Panel de control situado en la sala de control dispondrá de una pantalla táctil desde el que se podrán ver detalles e informaciones más completas acerca del estado del sistema. Esta pantalla será la misma que se encuentra en el panel PCM. El ordenador estará conectado a un PC externo desde el que se podrá acceder a toda la información disponible, como el registro de fallos.

Mediante la pantalla del panel de control central se pueden observar los siguientes eventos:

- Todas las puertas están abiertas
- Todas las puertas están cerradas
- Cuáles son las puertas que están cerradas
- Un PCM está activo
- Cuál es el PCM activo
- Al menos una puerta PDM está bloqueada por un obstáculo
- Qué puerta está bloqueada
- Al menos una puerta PEE está abierta
- Qué puerta PEE está abierta
- Al menos una PFP está abierta
- Qué puerta PFP está abierta
- Mensajes de diagnóstico del sistema
- Identificación de fallos

## 10 FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA

Bajo condiciones normales de aplicación, el sistema de puertas deslizantes de plataforma está controlado por medio del sistema de señalización CBTC.

El sistema de señalización es el encargado de controlar el tráfico de trenes, la velocidad, la frecuencia de paso y la parada del tren. Cuando un tren para en una estación, el sistema de señalización envía una señal al sistema de control de las PSD que autoriza la apertura de las puertas. En condiciones normales, tanto las puertas de andén como las puertas del tren se abrirán de forma simultánea.

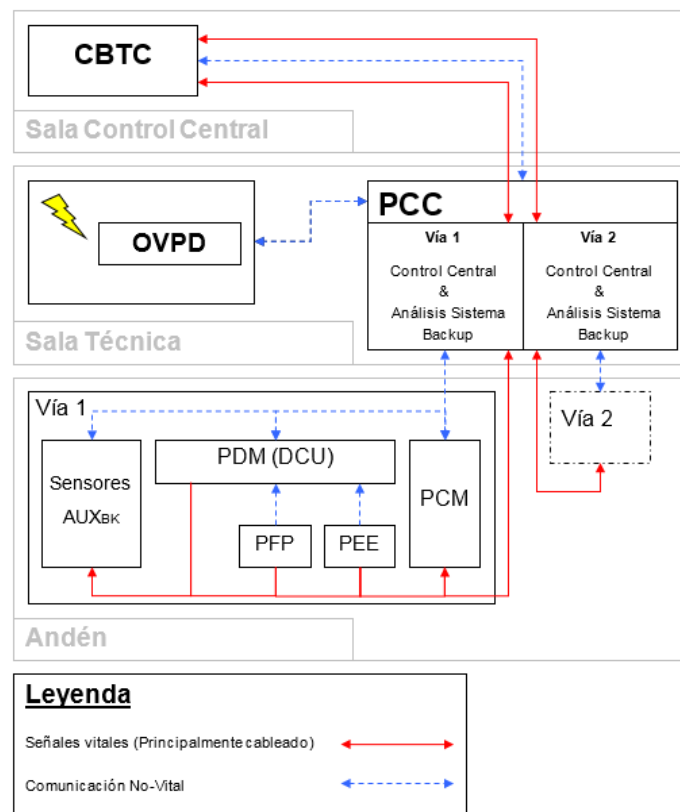
Después de un intervalo de tiempo suficiente para permitir la entrada y salida de pasajeros, el sistema de señalización emite una señal al equipo de control de las PSD para que se produzca el cierre de las puertas. Al igual que pasa con la apertura, el cierre de las puertas se realiza de manera simultánea en el tren y en las puertas de andén.

El sistema PSD supervisa todas las puertas deslizantes instaladas en la plataforma. Cuando las puertas se encuentran cerradas y bloqueadas, se emite una señal al sistema de señalización dando la autorización para que el tren pueda comenzar su marcha.

En el caso en el que la interfaz con la señalización se encontrase con un fallo permanente o existiese algún problema en el sistema de señalización CBTC, dicho proceso no funcionará correctamente. Para esta situación, existirá un sistema auxiliar de reserva (backup).

### 10.1 Vista general del sistema

Con el objetivo de aclarar la funcionalidad, en la figura 37 se representa el flujo de las señales del sistema de PSD. En la figura se hace una distinción entre las comunicaciones consideradas vitales, que están directamente relacionadas con la seguridad y las que no se consideran como señales vitales. Además la figura da una idea de la ubicación de los elementos participantes en el flujo de comunicaciones.



**Figura 37: Vista general de interfaz**

Mediante el Panel de Control Central de las puertas (PCC) se realiza el control del sistema de puertas de andén y además se realiza la comunicación con el sistema de señalización CBTC y con el resto de componentes externos.

Además, la fuente de alimentación (SSE) y el equipo de protección contra sobrecarga (OVPD) también están conectados con el PCC. Esta comunicación no está considerada como una comunicación de seguridad.

El intercambio de datos entre el sistema CBTC y el panel PCC se realiza por dos interfaces, uno que se considera como crítico en lo que se refiere a seguridad y por tanto considerado como intercambio de señales vitales, y una segunda vía no tan crítica en lo que se refiere a la comunicación, por lo que se considera como un interfaz no vital.

En el PCC se realiza una distinción entre “Vía 1” y “Vía 2”, ya que en un mismo panel se controlan los dos andenes de una misma estación. Ambos sistemas son idénticos y dependiendo de la localización del tren, se accionarán las puertas de una vía o de otra.

En la plataforma, el panel de control se comunica con los siguientes elementos:

- Sistema AUX<sub>BK</sub>: La comunicación con el panel de control se realiza por dos vías, una primera vía que transmite información considerada como relevante para la seguridad y por tanto considerada como vital, y una segunda vía de comunicación considerada no vital.
- Puerta deslizante motorizada (PDM): Son las puertas por las que se realiza el intercambio de pasajeros entre el tren y la plataforma. Aquí se encuentra un elemento clave que es la unidad de control de las puertas (DCU). La

comunicación con el PCC se realiza por dos vías, una primera vía que se considera como información vital, y una segunda vía de comunicación que transmite información considerada no vital.

- Puerta de Emergencia (PEE): Las puertas de emergencia no transmiten mensajes altamente críticos en materia de seguridad con la unidad central DCU, mientras que sí que sí que comunican información importante de seguridad al PCC, y por tanto el interfaz entre ellos dos es considerado como vital.
- Puerta de Final de Plataforma (PFP): Se comportan igual que las puertas de emergencia a nivel de comunicaciones con la unidad central DCU y el panel de control PCC.
- Panel de operación manual (PCM): En este panel se permite una operación manual del sistema y además se indica el estado de las puertas. El intercambio de información entre el PCM y el PCC se realiza mediante dos interfaces, uno considerado vital por intercambiar información relevante a la seguridad y otro interfaz considerado como no vital.

## 10.2 Características del sistema

### 10.2.1 Características relacionadas con la operación y el intercambio de pasajeros

Las principales funciones de un sistema PSD con respecto a la operación de los pasajeros son:

- Evitar el acceso no autorizado a las vías, ya que la estructura de las PSD está a lo largo de todo el andén. Es imposible abrir desde el lado de la plataforma, sin medios o equipamiento auxiliar, los módulos PDM, PEE y PFP una vez que las puertas están bloqueadas mecánicamente.
- Proteger a las personas que se encuentran en la plataforma de los trenes que entran o salen de la estación.
- Permitir el flujo de personas entre el tren y el andén por medio de las puertas automáticas (PDM).
- Permitir la evacuación del tren o de la vía desde la zona de los raíles ya que en caso de emergencia, los módulos PDM, PFP y PEE poseen un accionamiento mecánico por la parte de la vía que permiten su apertura manual.

### 10.2.2 Puertas Deslizantes Motorizadas (PDM)

La apertura de las puertas deslizantes motorizadas requiere de una liberación previa del bloqueo mecánico que asegura la puerta una vez cerrada. Si no se produce una liberación de este bloqueo, no se producirá la apertura de la puerta. Una vez abiertas, no se cerrarán hasta que no se libere la orden de cierre de puertas.

El cuadro de control local (LCB) puede ser conmutado para ofrecer diferentes respuestas, como se muestra en la Tabla 1:

Funciones Posición de la llave	Comandos automáticos	Comandos manuales	Lazo de seguridad
Automático	S	N	S
Manual	N	S	S
Fuera de servicio	N	N	N
Mantenimiento	N	S	N

**Tabla 1: Función según el estado del LCB**

En el modo automático:

- La puerta está lista para reaccionar cuando recibe comandos de la unidad de control de las puertas.
- Los comandos manuales son ignorados.
- El circuito de seguridad está activado, lo que quiere decir que el sistema PSD no dará permiso al CBTC para que el tren pueda moverse si una de las puertas se encuentra abierta.

En el modo manual:

- Los comandos recibidos por parte de la unidad de control de las puertas son ignorados.
- La puerta está lista para reaccionar cuando recibe un comando manual por medio del LCB.
- El circuito de seguridad está activado igual que en el modo automático, lo que quiere decir que el sistema PSD no dará permiso al CBTC para que el tren pueda moverse si una de las puertas se encuentra abierta.

Si la puerta no se encuentra en operación (modo aislado):

- Los comandos recibidos por parte de la unidad de control de las puertas son ignorados.
- Los comandos manuales son ignorados.
- El circuito de seguridad no estará activado, por lo que un tren podrá moverse dentro de la estación aunque una de las puertas esté abierta.

Este estado es especialmente crítico para la seguridad y debe contar siempre con personal que vigile el estado de la puerta.

En el modo de mantenimiento:

- Los comandos recibidos por parte de la unidad de control de las puertas son ignorados.

- La puerta está lista para reaccionar cuando recibe un comando manual por medio del LCB.
- El circuito de seguridad no estará activado, por lo que un tren podrá moverse dentro de la estación aunque una de las puertas esté abierta.

Al igual que en el modo de aislamiento, este estado es crítico para la seguridad y debe activarse sólo para operaciones de mantenimiento, a ser posible fuera del horario de operación comercial.

Además, los comandos de actuación tienen una prioridad determinada según el origen de la señal, siendo la prioridad 1 la prioridad preferente:

- Prioridad 1: LCB. Comandos a nivel local mediante el cuadro de control de la puerta.
- Prioridad 2: PCM. Comandos centrales, pero que se transmiten directamente desde los demás elementos de la plataforma.
- Prioridad 3: CBTC/AUX<sub>BK</sub>. Comandos que se transmiten a partir del sistema de señalización.

### 10.2.2.1 Apertura de la puerta

#### 10.2.2.1.1 Desbloqueo de la puerta

La unidad de desbloqueo recibirá directamente la orden de activación de la puerta. En ese momento la puerta empieza el proceso de desbloqueo de la manera siguiente:

Cuando se recibe la señal por parte del sistema de señalización, o se ejecuta una orden de apertura por medio del controlador local (en los modos manual o de mantenimiento), se aplica una tensión sobre los electroimanes de elevación de los conmutadores de seguridad.

El motor de la puerta presiona la misma en el sentido de cierre con el objetivo de liberar cualquiera de los actuadores de seguridad que se haya podido quedar atascado eventualmente.

El proceso de desbloqueo concluye cuando se emite la señal de desbloqueo.

El módulo de control de las puertas comunica un fallo cuando, después de haber transcurrido 1 segundo desde la actuación del electroimán, la puerta no se desbloquea. En este caso, la puerta pasaría al proceso de cierre.

La liberación de la puerta se corresponde a una trasposición autorizada del estado de la puerta que pasa del estado “seguro inactivo” a “crítico activo”.

#### 10.2.2.1.2 Permiso para abrir la puerta

El DEC interno del PSD activa el permiso para abrir la puerta una vez que recibe la señal de que está desbloqueada.

Una vez desbloqueada, la puerta sólo recibe el permiso para su apertura cuando se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- La señal de habilitación A se activa.



- La señal de habilitación B se activa.
- Está actuando el desbloqueo de emergencia.
- El LCB se encuentra en modo manual.
- El LCB se encuentra en modo mantenimiento.

y a la vez

- La puerta no se encuentra aislada.
- El comando de “inhibir puerta” no se encuentra activo.
- La puerta no se encuentra fuera de servicio.

#### **10.2.2.1.3 Proceso de apertura**

Una vez dado el permiso para el proceso de apertura, los siguientes eventos llevan a la apertura de la puerta:

- Apertura manual por medio del LCB, cuando la puerta se encuentra en modo manual o de mantenimiento.
- La puerta se encuentra en modo automático y se recibe la orden de abrir todas las puertas o de apertura individual con el número de la puerta correspondiente.

El motor de apertura de la puerta actúa moviendo la hoja en la dirección de apertura. El movimiento de la puerta se controla por medio de un generador de impulsos y un software que regula la llegada suave y el frenado de la hoja al final del recorrido.

El desgaste mecánico es compensado hasta una determinada dimensión, mediante la regulación de las velocidades.

El procedimiento de apertura es interrumpido y el motor desconectado cuando ocurre alguna de las siguientes situaciones:

- Se alcanza el número de pulsos máximo.
- Se alcanza el tiempo máximo de 10 segundos de apertura.
- Cuando actúa un comando de cierre.

Una puerta que no consigue abrirse por completo, llegará hasta su posición máxima de apertura.

#### **10.2.2.1.4 Obstáculo en la posición de apertura**

Cuando la puerta empieza a moverse en su dirección de apertura, se activa el mecanismo de reconocimiento de obstáculos.

Cuando la fuerza de apertura es superior al límite máximo estipulado durante más de 100ms, entonces es reconocida la presencia de un obstáculo.

Una vez reconocido un obstáculo, la puerta se detendrá durante 2 segundos y volverá a iniciar el movimiento de apertura, supervisando la fuerza máxima y repitiendo el proceso en caso de volver a encontrar un obstáculo.

Si después de 3 intentos de apertura, se sigue encontrando un obstáculo, la puerta permanecerá parada en la posición en la que se encontraba. La puerta emite una señal de alarma y recibe un comando de cierre.

### **10.2.2.2 Cierre de la puerta**

#### **10.2.2.2.1 Permiso para el cierre de la puerta**

La puerta sólo puede recibir la autorización para su cierre cuando no se encuentra en modo de aislamiento.

#### **10.2.2.2.2 Proceso de activación del cierre**

Una vez que se tiene el permiso para el cierre de la puerta, y la puerta no se desbloquea por emergencia, cualquiera de los eventos siguientes conducirá al cierre de la puerta:

- Cierre manual por medio del LCB, en modo manual o de mantenimiento.
- La puerta se encuentra en modo automático y se recibe la orden de cerrar todas las puertas o de apertura individual con el número de la puerta correspondiente.
- El bus de comunicaciones está interrumpido y las dos señales internas “enable” de las PSD cambian de 1 a 0.

#### **10.2.2.2.3 Cierre**

Una vez que se ha recibido la señal para el cierre de la puerta, el motor DC se acciona en el sentido de cierre, y de esta manera inicia el movimiento de cerrar. Por medio del generador de pulsos, se tiene el control de la posición de la puerta y se regula la velocidad del motor para permitir una llegada suavizada al final del recorrido.

El desgaste mecánico es compensado hasta una determinada dimensión, mediante la regulación de las velocidades.

Una vez que la puerta se encuentra en el final de su recorrido y se acciona el dispositivo de bloqueo de la puerta, el motor se detiene y pasa al modo de espera.

#### **10.2.2.2.4 Bloqueo de la puerta**

Solamente se podrá bloquear una puerta que se encuentra completamente cerrada. Cuando la puerta llega al final de su recorrido, se acciona el dispositivo de bloqueo.

Una vez que la puerta está cerrada y bloqueada, se genera la señal de “Puerta cerrada y bloqueada”, que se envía al sistema de control.

#### **10.2.2.2.5 Obstáculo en el proceso de cierre**

Cuando empieza el movimiento de cierre de la puerta por parte del motor, se activan los mecanismos de reconocimiento de obstáculos.

Cuando la fuerza de cierre es superior al límite máximo estipulado durante más de 100ms, entonces es reconocida la presencia de un obstáculo.

Una vez reconocido un obstáculo, la puerta se detendrá durante 2 segundos, retrocederá entre 3 y 5 cm, y volverá a iniciar el movimiento de cierre, supervisando la fuerza máxima y repitiendo el proceso en caso de volver a encontrar un obstáculo.

Si después de 3 intentos de cierre, se sigue encontrando un obstáculo, la puerta permanecerá parada en la posición en la que se encontraba. La puerta emitirá una señal de alarma y deberá cerrarse manualmente.

### 10.2.2.3 Apertura de emergencia

Por medio de la llave instalada en la parte de la plataforma, o por medio de la manecilla instalada en el lado de la vía, se realiza un desbloqueo manual de la puerta. Al accionar cualquiera de estas dos acciones, el dispositivo de bloqueo se libera y por tanto se inhibe cualquier orden de apertura automática. La PDM ignora las señales de apertura y cierre del sistema hasta que se realice un reinicio de la misma.

### 10.2.2.4 Led de estado y señal sonora

Cada puerta PDM posee en su parte superior un led que indicarán el estado de la puerta y que podrán estar acompañadas o no de una señal sonora. La luz tendrá dos colores, rojo o ámbar, que se iluminarán según se describe a continuación:

- Puerta cerrada y bloqueada:  
LED rojo            OFF (apagado)  
LED ámbar        ON (encendido)
- Puerta va a proceder a ser cerrada:  
LED rojo            Parpadea a 2Hz  
LED ámbar        OFF (apagado)
- Puerta abriendo:  
LED rojo            ON (encendido)  
LED ámbar        OFF (apagado)
- Puerta cerrando:  
LED rojo            Parpadea a 1Hz  
LED ámbar        OFF (apagado)
- Puerta abierta:  
LED rojo            ON (encendido)  
LED ámbar        OFF (apagado)
- Puerta aislada:  
LED rojo            OFF (apagado)  
LED ámbar        Parpadea a 1Hz
- Fallo en la puerta:  
LED rojo            OFF (apagado)  
LED ámbar        Parpadea a 1Hz
- Puerta Inhibida:  
LED rojo            OFF (apagado)  
LED ámbar        Parpadea a 1Hz

- Puerta en modo mantenimiento:  
LED rojo OFF (apagado)  
LED ámbar Parpadea a 1Hz
- Puerta en modo manual con el PCM (cerrada y bloqueada):  
LED rojo Parpadea a 2Hz  
LED ámbar OFF (apagado)
- Puerta en modo manual con el PCM (abriendo):  
LED rojo ON (encendido)  
LED ámbar OFF (apagado)
- Puerta en modo manual con el PCM (cerrando):  
LED rojo Parpadea a 1Hz  
LED ámbar OFF (apagado)
- Puerta en modo manual con el PCM (abierta / no bloqueada):  
LED rojo ON (encendido)  
LED ámbar OFF (apagado)

Al mismo tiempo que se ilumina el led de estado, se puede generar un sonido de alerta como se describe a continuación:

- Por cada movimiento de la puerta (apertura o cierre), se emitirá una señal de alerta con una frecuencia de 1 Hz, que empezará 0.5 segundos antes del movimiento y tendrá una duración de 4 segundos.
- Si la puerta se encuentra completamente abierta o cerrada, no se emitirá ninguna señal.
- Cuando se produce un desbloqueo de emergencia, se emitirá una señal de alerta con una frecuencia de 1 Hz. Una vez que la puerta alcanza la mitad del recorrido y se encuentra semi-abierta, cesa el tono de alerta.
- Si se encuentra un obstáculo durante el movimiento de cierre o apertura, se emitirá 1 tono de alerta de 1 segundo de duración. Si se realiza la secuencia de cierre/apertura y el obstáculo continúa, la puerta se detiene y emite un sonido continuo de alerta.

### 10.2.3 Puertas de Emergencia (PEE)

Las puertas de emergencia cuentan con un sistema de monitorización capaz de registrar el estado de la puerta. Los estados que se registran son, puerta cerrada y bloqueada, puerta abierta, y fallo.

Cuando se acciona la barra antipánico se envía una señal de alarma hacia la sala de control.

Cada puerta PDM posee en su parte superior un led de un único color ámbar que indicarán el estado de la puerta del siguiente modo:

- PEE cerrada y bloqueada: OFF (apagada)
- PEE abierta: ON (encendida)
- Defecto en el sensor de puerta cerrada y bloqueada: Parpadea a 1Hz
- Aislada mediante PCM: Parpadea a 1Hz
- Mantenimiento mediante PDM: Parpadea a 1Hz

#### **10.2.4 Puertas de final de plataforma (PFP)**

Las puertas de final de plataforma cuentan con un sistema de monitorización capaz de registrar el estado de la puerta. Los estados que se registran son, puerta cerrada y bloqueada, puerta abierta, y fallo.

Cuando se acciona la barra antipánico se envía una señal de alarma hacia la sala de control.

Cada puerta PDM posee en su parte superior un led de un único color ámbar que indicarán el estado de la puerta del siguiente modo:

- PFP cerrada y bloqueada: OFF (apagada)
- PFP abierta: ON (encendida)
- Defecto en el sensor de puerta cerrada y bloqueada: Parpadea a 1Hz
- Aislada mediante PCM: Parpadea a 1Hz
- Mantenimiento mediante PDM: Parpadea a 1Hz

#### **10.3 Numeración de las puertas PDM**

Para gestionar el intercambio de datos entre el sistema CBTC y el sistema PSD, los elementos que se encuentran en la plataforma correspondientes al PSD se encuentran numerados. Esta numeración se realizará en la dirección de avance del tren como sigue:

- Puerta automática PDM (24 en total): de la 1 a la 24
- Puerta de emergencia PEE (48 en total): de la 101 a la 148
- Puerta de final de andén PFP(2 en total): 201 y 202

## 11 DISEÑO DE INTERFAZ ENTRE CBTC Y PSD.

### 11.1 Necesidades para el control de las puertas

Las necesidades para el control de las puertas de andén marcan el número de señales y el tipo para realizar un correcto control de las mismas. En este caso es necesario:

- Una señal de activación por parte del CBTC hacia las puertas de andén para que éstas comiencen a tener en cuenta las órdenes de apertura o cierre. Será una condición indispensable para la apertura y ante la ausencia de esta señal se cerrarán las puertas. Esto creará un estado seguro ante posibles falsas órdenes de apertura.
- Una señal que ordene la apertura de las puertas.
- Para poder sincronizar correctamente los movimientos de las puertas del tren con las puertas de andén, y además conocer el estado en el que se encuentran las puertas de andén, se utilizará una señal para indicar que éstas se encuentran completamente abiertas y otra para indicar que se encuentran completamente cerradas.
- El estado seguro del sistema es que las puertas se encuentren cerradas y bloqueadas, lo que impide el acceso a las vías a los usuarios y permite los movimientos del tren en la estación sin peligro. Por tanto, es necesario una señal que indique este estado para todas las puertas, tanto para las automáticas como para las puertas estáticas o de emergencia.
- Si alguna puerta del tren no se encuentra disponible, esto deberá ser conocido para que las puertas de andén no se abran indebidamente.
- Igualmente, si alguna puerta de la plataforma se encuentra inhibida o no se encuentra disponible cualquier razón, deberá ser conocido por el sistema CBTC para impedir la apertura de su homónima en el tren.
- Si se ha detectado un objeto durante el cierre de las puertas de andén, y ésta comienza a realizar la operación de reciclado del movimiento, se debe notificar al sistema CBTC para que la puerta del tren correspondiente realice la misma operación de reapertura.

Además, como se va a implementar un sistema de control que funcione de forma independiente al sistema de señalización CBTC (el sistema AUX<sub>BK</sub>), se vuelve necesario que el sistema conozca esta situación para no generar situaciones en las que se puedan enviar alarmas indevidas al puesto de control.

## 11.2 Señales de control

El interfaz eléctrico entre el sistema CBTC y los equipos PSD para cada equipo instalado en las estaciones, consiste en el intercambio de señales mediante el cual se proporcionará tanto información del estado de las puertas PDM como las órdenes de apertura y cierre de las mismas.

Las principales señales definidas para la interfaz serán:

- **DEC:** Door Enable Command. Comando de activación de las puertas de andén. El equipo CBTC indica que es seguro realizar la apertura de las puertas. El sistema PSD sólo abrirá las puertas automáticas cuando, además de la señal de apertura, se reciba la señal DEC de activación.  
Flujo de señal: CBTC → PSD
- **DOC:** Door Open Command. Comando que ordena la apertura de las puertas. Sólo se abrirán las puertas cuando las PSD recibe además la señal DEC.  
Flujo de señal: CBTC → PSD
- **FOS:** Fully Opened Status. Señal que indica que las puertas de andén están completamente abiertas.  
Flujo de señal: PSD → CBTC
- **DCS:** Door Closed Status. Señal que indica que las puertas de andén se encuentran completamente cerradas, pero no necesariamente bloqueadas.  
Flujo de señal: PSD → CBTC
- **CLS:** Closed and Locked Status. Señal que confirma que las puertas están cerradas y bloqueadas. Si esta señal no es recibida por parte del CBTC, un tren no estará autorizado a entrar o moverse dentro de la estación.  
Flujo de señal: PSD → CBTC
- **LOS:** Locked Out Status. Señal individual para cada puerta de andén que indica que ésta no se encuentra bloqueada manualmente mediante el LCB. Se utiliza para controlar si una puerta del tren no debe abrirse.  
Flujo de señal: PSD → CBTC
- **DIR:** Door Inhibited Request. Comando que envía el CBTC hacia el sistema PSD para indicar que una puerta del tren no se ha abierto correctamente y su correspondiente en la plataforma no debe abrirse o debe iniciar el cierre.  
Flujo de señal: CBTC → PSD
- **DRR:** Door Recycle Request. Señal que indica que durante el cierre o apertura de la puerta de andén, se ha encontrado un obstáculo y debe realizar un proceso de reciclado del movimiento.  
Flujo de señal: PSD → CBTC
- **DNS:** Door Not in Service. Comando que envía el CBTC hacia el Sistema PSD para indicar que una puerta del tren se encuentra fuera de servicio, y por tanto su correspondiente en el andén no debe abrirse.  
Flujo de señal: CBTC → PSD
- **DOCN:** Door Open Command Network. Señal redundante para confirmar que las puertas de andén (una vez abiertas) deben permanecer abiertas.  
Flujo de señal: CBTC → PSD

Existen dos situaciones que se identifican como críticas:

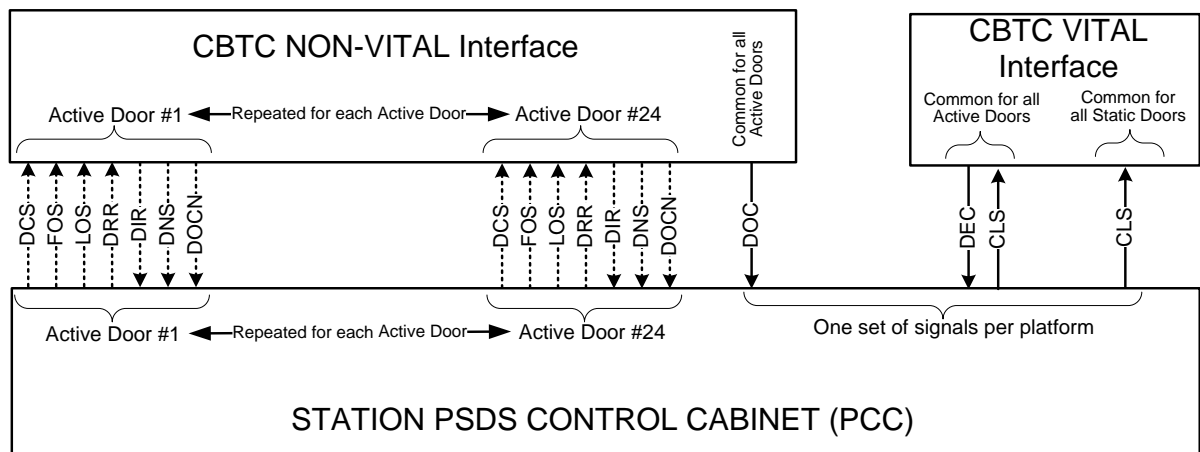
- I. Cuando en una estación no hay ningún tren, o durante el tiempo de llegada de un tren, las puertas no se deben abrir.
- II. Cuando las puertas se encuentran abiertas, el tren no puede iniciar la marcha o un tren no puede entrar en la estación.

Para ambas situaciones, el sistema debe cumplir con un nivel de seguridad SIL = 3.

Para cumplir con el nivel de seguridad requerido, se diferencia entre dos tipos de interfaces, el considerado vital y el no vital, como se define a continuación:

- **Interfaz vital:** Son aquellas señales que se consideran imprescindibles para garantizar la seguridad. Por tanto, serán las señales consideradas como vitales las que cumplirán con un nivel de seguridad SIL 3 y sin las cuales, el sistema reportará fallo y dejará de funcionar.
- **Interfaz no vital:** Son las demás señales, necesarias para el funcionamiento completo del sistema, pero que no serán señales que estén involucradas directamente con la seguridad. Si alguna de estas señales no se encuentra disponible, el sistema podrá funcionar mediante un modo degradado.

El intercambio de señales entre el sistema CBTC y el sistema PSD podrá ser a partir de señales cableadas individualmente o mediante la red común de datos. Por norma general, las señales que sean comunes para todas las puertas, estarán realizadas mediante lógica cableada, mientras que las señales específicas para cada puerta, debido al volumen de datos, se enviarán por medio de la red de datos común.



**Figura 38: Señales CBTC-PSD. Visión general de interfaz**



### 11.3 Interfaz vital

El interfaz vital del sistema deberá cumplir con un nivel de seguridad SIL = 3.

Para que el interfaz cableado tenga una certificación SIL 3 debe estar de acuerdo con la norma EN 62061, y para alcanzar el nivel de seguridad requerido, entre otras cosas, cada señal debe presentar redundancia, debe estar controlada por dobles contactos y su estado debe estar supervisado de alguna manera.

De acuerdo con las situaciones críticas mencionadas en el punto anterior, se van a considerar señales vitales aquellas que garantizan que las puertas están cerradas y bloqueadas, tanto las puertas automáticas como el resto de puertas manuales. Por tanto, la señal CLS para las puertas PDM (CLS-AD), como para las puertas estáticas (CLS-SD) serán consideradas como señales vitales.

La señal de activación de las puertas de andén DEC, es esencial para la apertura de las puertas automáticas. En el caso de que el sistema PSD no reciba ésta señal por parte del CBTC, las puertas de andén no se abrirán (aunque se reciba la señal de apertura de puertas DOC). De igual manera, en caso de dejarse de recibir la señal DEC, las puertas procederán a su cierre. Por tanto, la señal DEC también será considerada como una señal de seguridad.

### 11.4 Señales vitales enviadas por el CBTC hacia el sistema PSD

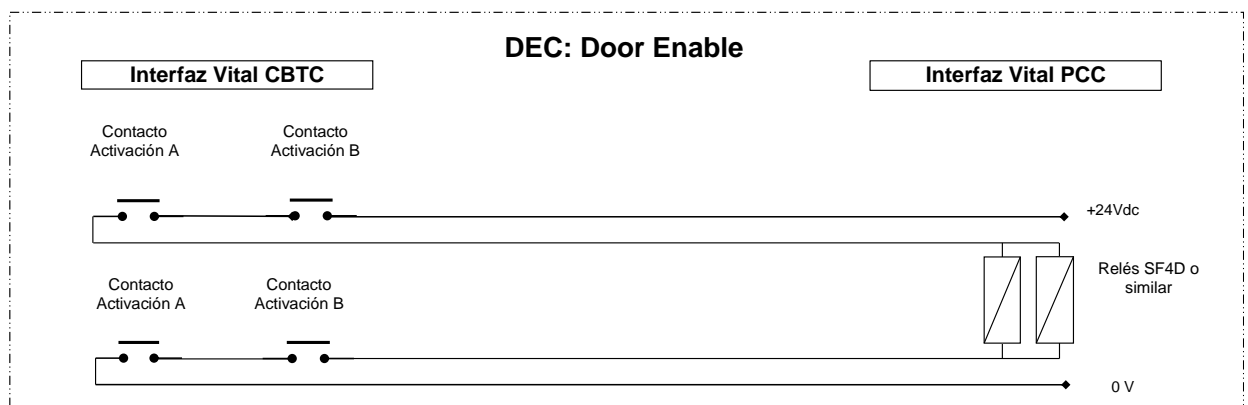
La única señal vital enviada por el sistema CBTC hacia el sistema PSD, será la señal de activación de puertas:

- DOOR ENABLE COMMAND (DEC): Esta señal es el comando de seguridad asociado con el desbloqueo y apertura de las puertas PDM. Se considera un comando crítico para la seguridad y por tanto debe ser desarrollado e implementado únicamente por medio de un diseño adecuado para la seguridad (SIL 3). La señal DEC controla dos relés en el sistema PSD que activan las puertas.

Para implementar este aspecto en el diseño, la señal intercambiada por los dos sistemas, estará controlada por el sistema CBTC por medio de dos relés diferentes A y B. El cable de señal estará alimentado por medio de los 24 V del sistema de puertas de andén y estará conectado a dos contactos normalmente abiertos libres de potencial a partir de cada relé A y B. De esta forma se cumple la apertura por dos contactos independientes.

Para hacer la señal redundante, se tomarán otros dos contactos de los mismos relés y se hará pasar el cable de señal de nuevo por otros dos contactos diferentes de los relés A y B. De esta manera, redundamos la orden de la activación de puertas.

De esta forma, los contactos de activación serán 4 en total como se puede ver en la siguiente figura.



**Figura 39: Señal DEC**

Esta señal se mantendrá activa durante todo el periodo que comprende la apertura de las puertas, mantenerse abiertas y los reintentos de apertura durante la detección de un obstáculo.

Si se pierde la señal DEC durante la fase de apertura o mientras las PDM se mantienen abiertas, las puertas se cerrarán como medida de seguridad. Si la señal se pierde durante el proceso de cierre, las puertas continuarán cerrándose.

## 11.5 Señales vitales enviadas por el sistema PSD hacia el CBTC

Uno de los criterios de seguridad para que el sistema CBTC permita que el tren comience su movimiento para salir de la estación, es la de recibir la confirmación por parte del PSD de que las puertas están cerradas y bloqueadas. Para ello, el equipo PSD proporcionará al sistema CBTC las siguientes señales:

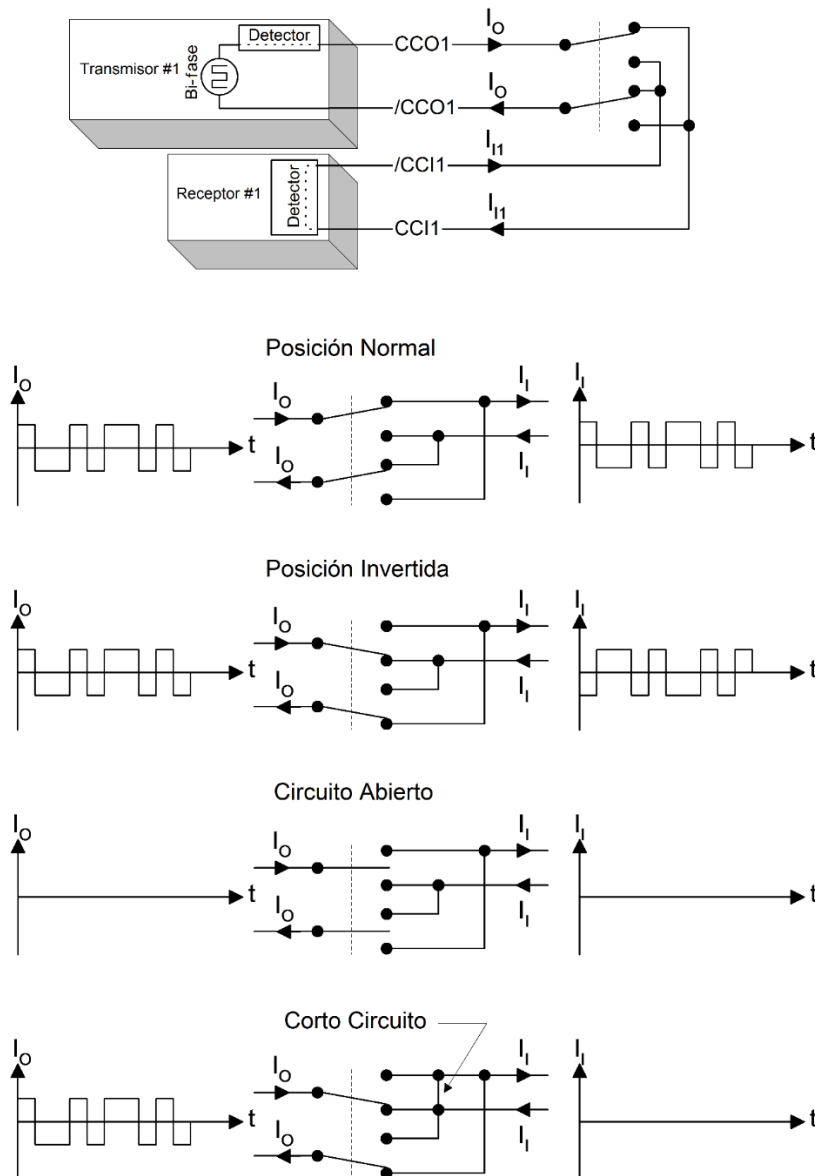
- **ACTIVE DOORS CLOSED & LOCKED STATUS (CLS-AD):** El sistema PSD energizará los relés en los cuales se conectan los cables de señal cuando las puertas PDM están cerradas y bloqueadas.
- **STATIC DOORS CLOSED & LOCKED STATUS (CLS-SD):** El sistema PSD energizará los relés en los cuales se conectan los cables de señal cuando las puertas PEE y PFP están cerradas y bloqueadas.

Estas dos señales se consideran como señales críticas para la seguridad. Como la señal indica que las puertas están cerradas y bloqueadas, se tienen dos contactos de dos relés A y B. El relé A se excitará cuando las puertas están cerradas, mientras que el relé B se excitará cuando actúa el dispositivo de bloqueo.

Esto presenta una doble confirmación para la señal, pero no se detectará un fallo en el caso de que un contacto se quedase pegado si los contactos se ponen en serie. Esto ocurre incluso realizando la misma operación que en el caso de la señal DEC anterior por tanto ésta no es una opción válida al no ser posible detectar fallos en la generación de la señal.

Por tanto, para implementar este aspecto en el diseño, se ha optado por un emisor doble de ondas digitales y un receptor, cuyas fases de onda estarán controladas por el sistema PSD por medio de dos relés diferentes A y B. Cada cable de señal (2 cables que salen del emisor) estará conectado a un contacto normalmente abierto de cada relé.

Las señales CLS-AD y CLS-SD consistirán en una onda cuadrada y no en una simple señal constante digital de 0 y 1, y está diseñada para detectar posibles fallos dependiendo de la fase en la que el receptor reciba la señal. Si las señales de los dos cables están en la misma fase, las puertas estarán cerradas y bloqueadas. Si las señales de los dos cables están en contrafase, las puertas no estarán cerradas y bloqueadas. Si alguna de las dos fases (o ninguna) no llega al receptor, el circuito estará abierto (fallo del relé) o se habrá producido un cortocircuito. De este modo las señales estarán supervisadas y será posible detectar fallos de funcionamiento.



**Figura 40: Señales CLS**

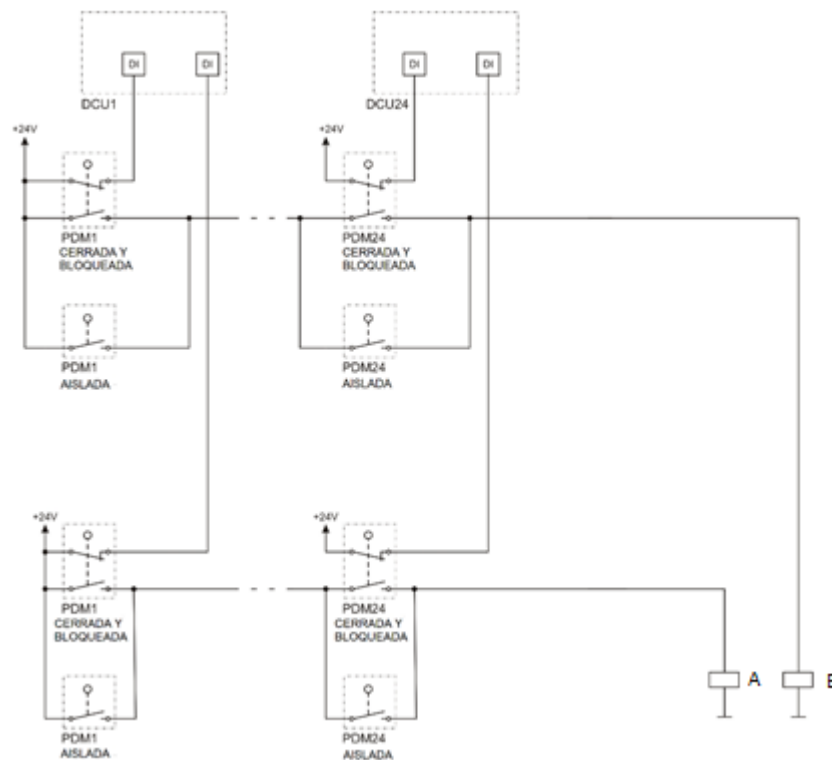
## 11.6 Generación de las señales vitales del sistema

### 11.6.1 Puertas cerradas y bloqueadas

Para alcanzar un nivel de seguridad SIL = 3, se han utilizado dos circuitos cableados independientes. Cada uno de estos circuitos está monitorizado para detectar fallos automáticamente.

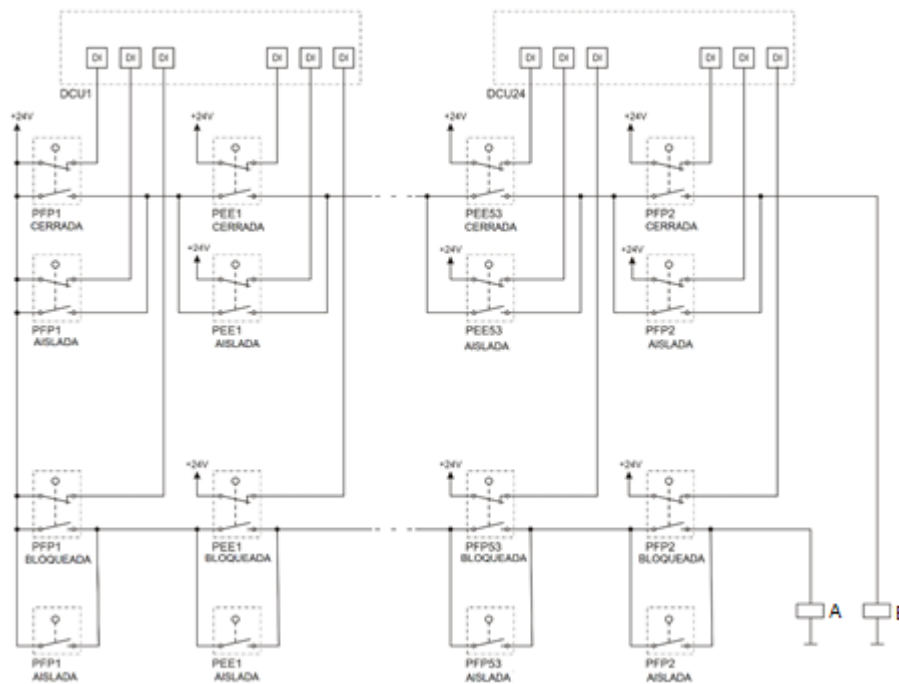
Para esta función, se emplean dos interruptores independientes para cada puerta individual. La alimentación de la señal serán los 24 V del sistema de puertas de andén.

Cada hoja de las puertas PDM posee un dispositivo de bloqueo individual. La señal de que las puertas están cerradas y bloqueadas sólo se enviará cuando las dos hojas del módulo estén bloqueadas por los dos dispositivos.



**Figura 41: Diagrama señal CLS-AD**

Para cada PEE se instalarán 2 interruptores de control, uno para indicar “puerta cerrada” y otro para indicar “puerta bloqueada”.



**Figura 42: Diagrama señal CLS-SD**

Por parte del equipamiento CBTC sólo se recibe una única señal CLS-AD y una señal CLS-SD. Para conseguir una única señal, la señal que proporciona cada una de las puertas está conectada en serie con la siguiente. De esta manera si una de las puertas no está correctamente cerrada y bloqueada, la señal CLS correspondiente no es generada y transmitida al sistema. La activación de un relé de seguridad al final de la línea cuando se generan las señales, son las que proporcionarán al sistema CBTC la confirmación de cada una de las señales.

En el caso de presentarse fallo en alguna de las puertas, cada una puede ser individualmente aislada del sistema por medio de los paneles de control manual PCM.

### 11.6.2 Señal de activación de puertas

Las señales de activación de las puertas deben cumplir un nivel de seguridad SIL = 3.

El equipo CBTC proporcionará esta señal por medio de dos circuitos totalmente independientes. Cada circuito controla un relé de seguridad que serán los que finalmente proporcionen la señal para la activación de las puertas que permita su apertura.

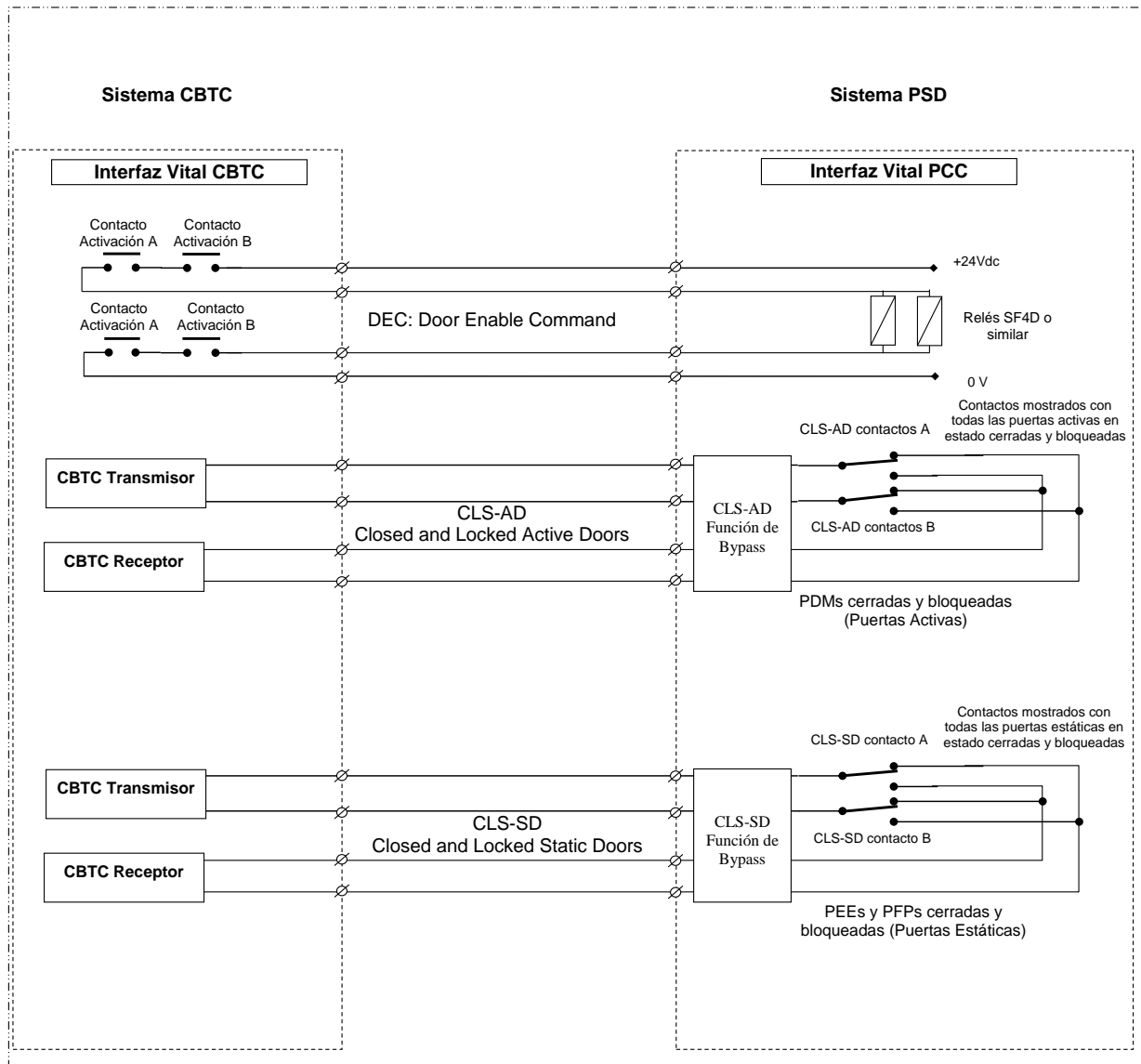
Para que las puertas puedan proceder a su apertura, se deben cerrar los dos circuitos A y B que controlan la señal. Los dos circuitos estarán conectados en serie, de manera que el fallo en uno de ellos no proporcionará el comando de activación al sistema PSD y por tanto no se procederá a la apertura de las puertas.

En caso de fallo en la interfaz entre el sistema CBTC y los equipos PSD, las señales se pueden generar manualmente por medio de los paneles de control manual PCM situados en la plataforma.

## 11.7 Interfaz vital del sistema. Vista general

El interfaz lógico de las señales eléctricas consideradas como vitales por el sistema, será como se muestra en la

**Figura 43: Interfaz vital CBTC-PSD.**



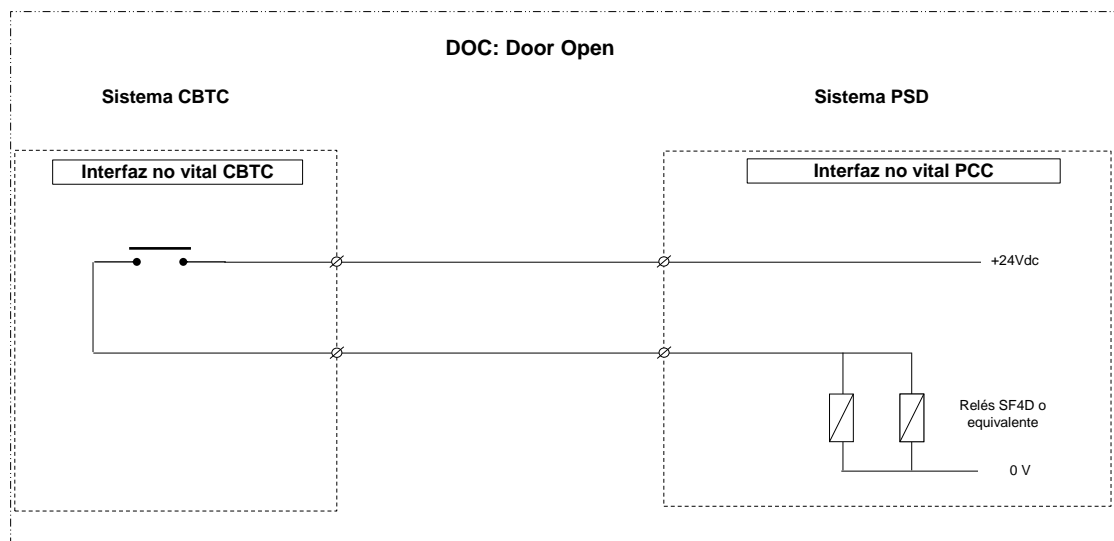
**Figura 43: Interfaz vital CBTC-PSD**

## 11.8 Señales no vitales enviadas por el CBTC hacia el sistema PSD

Para controlar la apertura de las PDM, una señal común para todas las puertas deslizantes será proporcionada al sistema CBTC por cada sistema PSD. La señal de apertura de puertas DOC no es una señal de seguridad debido a que el estado seguro es que las puertas de andén permanezcan cerradas para impedir el acceso a las vías a los usuarios. No obstante, como a la vez es necesario permitir un intercambio fiable de pasajeros entre el tren y la plataforma, se ha decidido implementar una redundancia en la señal de apertura de puertas, de manera que la activación se realice por medio de dos señales diferentes, una señal cableada (DOC) y otra mediante la red común de datos de comunicación entre el sistema PSD y el sistema CBTC (DOCN).

El resto de señales no vitales del sistema serán intercambiadas por la red común de datos. Estas señales son señales digitales que simplemente comunican su estado a los diferentes dispositivos asociados, que tomarán las acciones oportunas dependiendo del estado de cada una de ellas.

- Door Open Command (DOC): La señal DOC no está considerada como una señal de seguridad, sino sólo como una función. Al no ser una señal de seguridad, la activación de la señal será mediante un contacto normalmente abierto, controlado por un relé del equipamiento CBTC. Cuando se cierra el contacto, y el sistema PSD recibe la señal DOC, las puertas se abrirán o permanecerán abiertas.



**Figura 44: Señal DOC**

- Door Open Command Network (DOCN): Para cerrar las puertas, el sistema usará dos señales, DOC y DOCN. La señal DOC será la señal cableada descrita (ver Figura 45), mientras que la señal DOCN es utilizada por el sistema CBTC como una doble confirmación al PSD de la orden de cierre de la puerta. Esta señal se transmitirá mediante la red común de datos PSD-CBTC

Si se recibe la señal DOC y/o DOCN antes de recibir la señal DEC, las puertas permanecerán cerradas y bloqueadas hasta que se reciba la señal DEC.

La función normal se describe en la Tabla 2, y la funcionalidad en un escenario degradado se describe en la Tabla 3.

Escenario Normal	DEC	DOC cableada	DOCN (red)	Comunicación de red CBTC - PSDS	Comentarios
Abrir puerta	TRUE	TRUE	N.A.	N.A.	No se requiere la señal de red para la apertura de las puertas.
Las puertas se mantienen abiertas (gestionado por el sistema PSD)	TRUE	TRUE	FALSE	Healthy	Escenario normal. La señal DOCN se enviará antes de retirar la señal cableada.
Cerrar puerta	TRUE	FALSE	FALSE	Healthy	Las puertas se cerrarán cuando el sistema CBTC ponga las dos señales en "False" y hay comunicación de red.

**Tabla 2: Condiciones para Abrir y Cerrar las puertas en escenario normal**

Escenario Normal	DEC	DOC cableada	DOCN (red)	Comunicación de red CBTC - PSDS	Comentarios
Abrir puerta	TRUE	TRUE	N.A.	N.A.	No se requiere la señal de red para la apertura de las puertas.
Las puertas se mantienen abiertas (gestionado por el sistema PSD)	TRUE	FALSE	TRUE	Healthy	Fallo en la señal cableada. Las puertas se mantendrán abiertas hasta que la red CBTC ordene el cierre de puertas.
Cerrar puertas	TRUE	FALSE	N.A.	Fallo	Si la señal de red entre el CBTC y las PSD se pierde por más de 2 segundos, el sistema tendrá en cuenta sólo la señal cableada.
Cerrar puertas	FALSE	N.A.	N.A.	N.A.	Si se pierde la señal DEC cableada, las puertas se cerrarán.

**Tabla 3: Condiciones para Abrir y Cerrar las puertas en escenario degradado**



- **Train in Platform (TIP):** Esta señal servirá para activar o desactivar el estado de monitorización del dispositivo OVPD. Cuando no hay ningún tren en la estación, esta entrada informará al sistema OVPD de que no debe activarse incluso en el caso de que exista una diferencia de tensión como se describe en el capítulo 15 Protección contra sobretensiones.
- **Door Inhibit Request (DIR):** El CBTC envía el comando DIR a una puerta de andén individual, para prevenir su apertura. DIR se envía cuando una de las puertas del tren a encontrado algún fallo y no se abre correctamente, lo que inhibe la apertura de la puerta de andén correspondiente.
- **Door Not in Service (DNS):** El sistema CBTC utiliza esta señal para indicar al sistema PSD que una puerta del tren se encuentra fuera de servicio. La puerta PDM correspondiente a la puerta del tren fuera de servicio, no se abrirá.

## **11.9 Señales no vitales enviadas por el sistema PSD hacia el CBTC**

- **Door Recycle Request (DRR):** La señal DRR por parte de una puerta activa significa que se ha detectado un objeto durante el cierre o apertura de la misma. Cuando se detecta un objeto, la puerta se para y envía la señal al CBTC, iniciándose el proceso de reciclado únicamente de la puerta que envía la señal. Después de que el CBTC reciba 3 veces la señal DIR, enviará la señal para que todas las puertas se abran y esperará al cierre manual por parte del centro de control.
- **Door Control Status (DCS):** Cuando las puertas se encuentran completamente cerradas, cada puerta activa envía la señal DCS. Esta señal se utiliza para sincronizar correctamente las puertas de andén con las puertas del tren.
- **Fully Opened Status (FOS):** Cada puerta activa proporciona esta señal cuando se encuentra totalmente abierta. La señal es utilizada para la correcta sincronización de las puertas de andén con las puertas del tren.
- **Locked Out Status (LOS):** Cada puerta proporciona esta señal si NO se encuentra manualmente bloqueada. Si no se recibe esta señal, la puerta del tren correspondiente con la puerta de andén que se encuentra bloqueada, no se abrirá.

## **11.10 Generación de las señales no vitales del sistema**

### **11.10.1 Apertura de las puertas (DOC y DOCN)**

Tanto la señal DOC como la señal DOCN serán activadas por el sistema CBTC en el momento en que el tren reporte que está entrando en una de las estaciones. Gracias a que la posición del tren es conocida en todo momento por el sistema y ésta tiene una gran precisión, se puede considerar que la activación por error de esta señal es muy bajo.

Aunque ambas señales sean diferentes, el momento de activación será el mismo, y la única diferencia existente es la activación de un relé que cambiaría el estado del contacto normalmente abierto de la señal DOC, como se muestra en la Figura 44.

### **11.10.2 Tren en la plataforma (TIP)**

Para activar la monitorización de tensiones por parte del dispositivo OVPD se utiliza la señal TIP. Para detectar que un tren se está acercando a la estación, se coloca a unos metros de la entra, un sensor inductivo que detecta el paso del tren y activa la señal, manetnriendola en este estado de activación.

Para su desactivación, otro sensor inductivo se coloca a la salida de la estación, por lo que al detectar el paso del tren por el sensor, cambiará el estado de la señal y la desactivará.

### **11.10.3 Solicitud para inhibir una puerta de andén (DIR)**

Esta señal es generada por parte del tren, y por tanto enviada por el sistema CBTC. Cuando una de las puertas del tren detecta algún fallo en el movimiento de apertura, generalmente monitorizando la fuerza que ejercen los motores de movimiento de las puertas, comienza un proceso de cierre de la misma.

Para que la correspondiente puerta de andén no se abra o comience su proceso de cierre, el CBTC genera la señal DIR cambiando internamente su estado.

### **11.10.4 Puerta fuera de servicio (DNS)**

Cuando una de las puertas del tren se encuentra en fallo, el sistema CBTC cambia el estado de la señal DNS, y envía el nuevo estado a la puerta de andén correspondiente antes de enviar el comando de apertura, por lo que impide que ésta se abra.

### **11.10.5 Detección de obstáculo (DRR)**

La generación de la señal DRR se produce cuando se detecta un obstáculo. La detección de un objeto se realiza mediante unos sensores infrarrojos situados en la parte superior de las puertas que serán capaces de decetac objetos de hasta 8mm de espesor. Si se detecta la presencia de un objeto, entonces el estado de la señal DRR cambia, reportando esta incidencia y desencadenandose las acciones posteriores.

### **11.10.6 Puertas cerradas (DCS)**

Cuando las puertas están cerradas, se genera la señal por medio de un pulsador de rodillo situado en la guía superior de las puertas automáticas. Mientras este pulsador se encuentre actuando, las puertas estarán cerradas. Cuando se deje de presionar, la señal reportará que las puertas no están cerradas.

### **11.10.7 Puertas abiertas (FOS)**

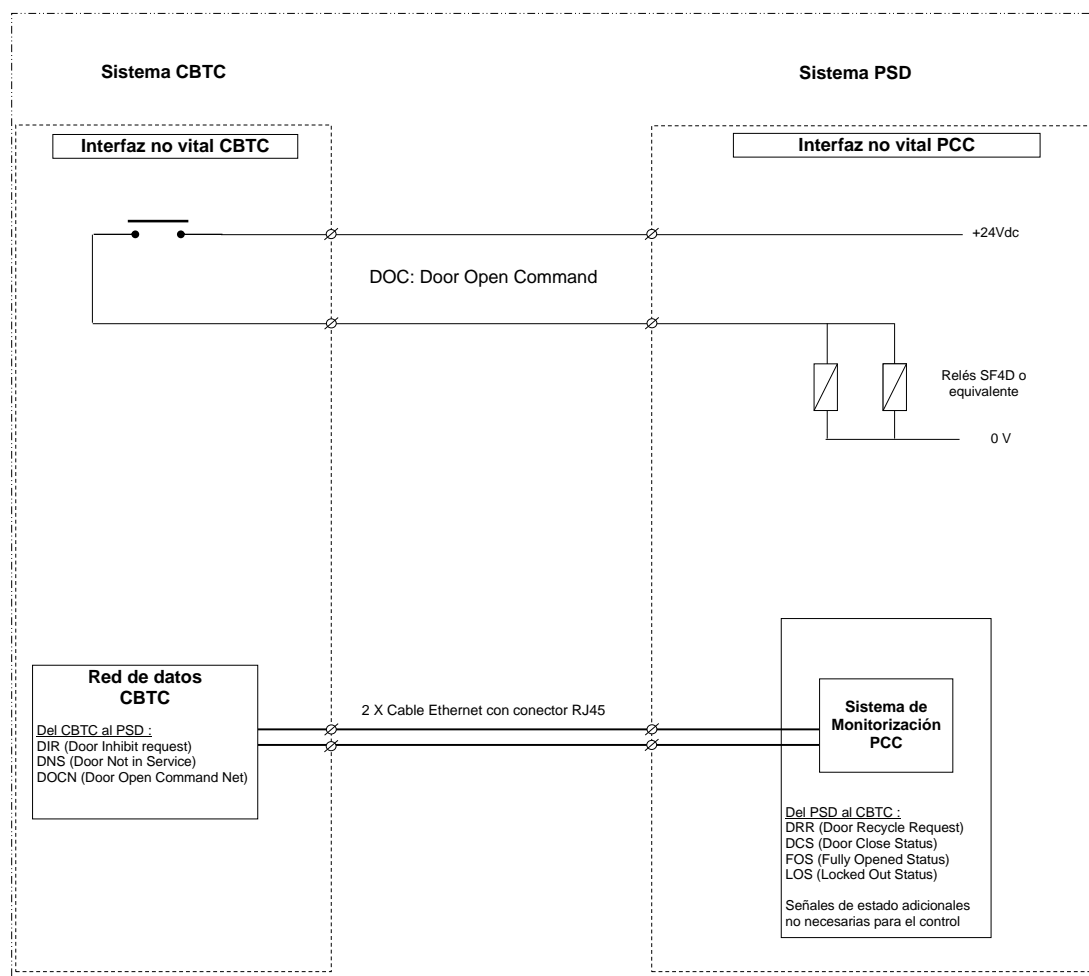
Cuando las puertas están completamente abiertas, se genera la señal por medio de un pulsador de rodillo situado en la guía superior de las puertas automáticas. Mientras este pulsador se encuentre actuando, las puertas estarán completamente abiertas. Cuando se deje de presionar, la señal reportará que las puertas no están abiertas en su totalidad.

### 11.10.8 Puerta de andén manualmente bloqueada (LOS)

Un contacto en la llave del mando de control local LCB, generará la señal si ésta se encuentra aislada o se están realizando tareas de mantenimiento sobre ella. De este modo la puerta del tren correspondiente no se abrirá.

## 11.11 Interfaz no vital del sistema. Vista general

El interfaz lógico de las señales eléctricas consideradas como no vitales por el sistema, será como se muestra en la Figura 45.



**Figura 45: Interfaz no vital CBTC-PSD**

La señal DOC será la única señal no vital que será controlada mediante una lógica cableada. El resto de señales serán controladas mediante la red de comunicaciones CBTC-PSD por dos cables Ethernet.

La red de datos no vitales enviados por Ethernet se utiliza para enviar señales de estado individual de cada una de las puertas hacia el CBTC (DRR, DCS, FOS, LOS e informaciones adicionales de estado y alarmas que no requieren ser controladas expresamente) y para recibir comandos individuales por parte de las Puertas Deslizantes PDM desde el CBTC (DIR, DNS y DOCN).

## 12 MODO DE FUNCIONAMIENTO DEGRADADO

El interfaz entre los sistemas CBTC y PSD se ha diseñado para poder adaptarse a diferentes tipos de fallo y asegurar que el sistema de puertas automáticas se mantiene en un estado funcional autónomo.

Dentro de los modos de fallo soportados por el sistema encontramos la pérdida de la conexión de red entre el CBTC y el sistema PSD, y una pérdida total del sistema CBTC.

### 12.1 Pérdida de la conexión de red entre CBTC y PSD

En el caso en el que la conexión de red CBTC – PSD falle o se pierda por completo, el sistema de puertas de andén podrá continuar operando de manera automática por medio de las señales con lógicas cableadas DEC y DOC controladas por el CBTC y las señales CLS-AD y CLS-SD proporcionadas por el PSD.

En este caso, para garantizar la seguridad de los pasajeros, el estado de la señal TIP (Train In Platform) que controla si hay un tren en la estación, asumirá el valor por defecto y el sistema asumirá que siempre hay un tren en la estación, por lo que en el caso de existir una diferencia de potencial elevada, se activará el equipo OVPD.

El estado por defecto de las señales intercambiadas por la red de datos será el siguiente:

Descripción	Señal	Valor por defecto
Door Recycle Request Status	DRR	Low: No reciclado
Locked-out Status	LOS	High: Puerta OK.
Door Inhibit Request	DIR	Low: No inhibida
Door Not in Service	DNS	Low: En servicio
Door Open Command Net	DOCN	Low: Indefinido
TIP. Train in Platform	TIP	Low: Tren en la estación

**Tabla 4: Valores por defecto de las señales de la red de datos en caso de fallo**

### 12.2 Pérdida del sistema CBTC

En el eventual caso en el que se produzca una caída del sistema completo CBTC, los trenes podrán ser controlados por un conductor y las puertas podrán funcionar de manera automática mediante el sistema AUX<sub>BK</sub> (ver capítulo 17 Sistema Auxiliar Back Up). El sistema auxiliar se tendrá que ser activado manualmente por medio de los paneles de control manual PCM instalados en los andenes de cada estación.

## 13 SECUENCIA Y TIEMPOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PUERTAS

### 13.1 Funcionamiento normal

Antes de que el tren entre en la estación, y en un estado normal de funcionamiento, sin ninguna puerta aislada, el estado de las señales y del sistema es el siguiente:

- Todas las puertas se encuentran cerradas y bloqueadas, y por tanto envían la señal CLS-AD y CLS-SD al sistema CBTC. Además se envía la señal DCS indicando que las puertas se encuentran cerradas y la señal LOC, indicando que las puertas no se encuentran bloqueadas manualmente.
- El resto de señales se encuentran en estado de reposo y sin potencial.

Cuando el tren se aproxima a la plataforma, la señal TIP se activa indicando que un tren está en las inmediaciones de la estación, y se pone en funcionamiento la supervisión por diferencia de tensión por medio del sistema OVPD.

Pocos metros antes de la entrada del tren en la estación, se prepara el sistema PSD para su apertura por medio de las señales DOC y DOCN. Las puertas continúan cerradas y se activa una señal acústica que avisa a los pasajeros que las puertas están próximas a abrirse.

Una vez que el tren se ha detenido en la posición correcta de la plataforma, con una tolerancia de  $\pm 10$  cm, el sistema CBTC ordena la apertura de las puertas de andén por medio de la señal DEC, que activa el control del sistema PSD. En este momento se inicia el proceso de apertura de las mismas, las puertas se desbloquean y las señales DCS y CLS-AD dejan de estar activas. El tren no puede moverse debido a que posee una restricción de velocidad 0.

Cuando las puertas se encuentran totalmente abiertas, cesa la señal acústica y el sistema PSD envía la señal FOS indicando que las puertas se encuentran completamente abiertas.

Transcurrido el tiempo estipulado de apertura de las puertas, se inicia el proceso de cierre de las mismas. El primer paso que realiza el sistema CBTC es retirar las señales DOC y DOCN. Entonces el sistema PSD activa una señal acústica indicando a los pasajeros que las puertas van a comenzar el movimiento de cierre.

En el momento en el que empieza el movimiento de cierre de las puertas, se deja de enviar la señal FOS.

Finalizado el movimiento de cierre, se envía la señal DCS al sistema CBTC para confirmar que se encuentran cerradas. Entonces cesa la señal acústica.

Una vez que las puertas están cerradas y bloqueadas, se vuelve a enviar la señal CLS-AD al CBTC. Cuando se confirma que todas las puertas están cerradas y bloqueadas, entonces se permite el movimiento del tren.

Cuando el tren abandona la estación, la señal TIP deja de estar activa, y el sistema de protección OVPD deja de proteger la estación contra diferencias de tensión.

La secuencia normal de apertura se puede observar en la Figura 46.

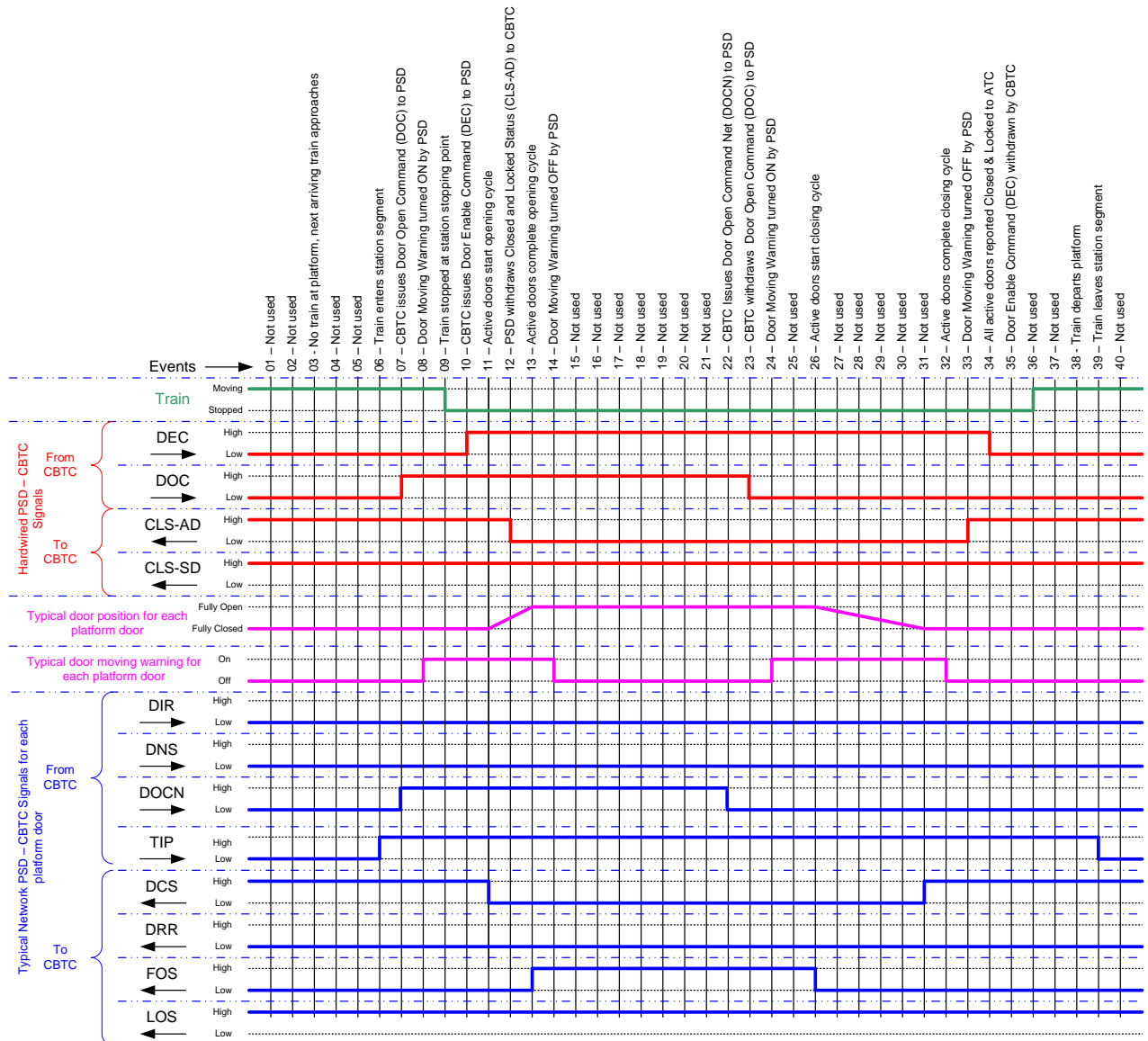


Figura 46: Secuencia de funcionamiento normal

## 13.2 Otros ejemplos de funcionamiento

Bajo situaciones de funcionamiento degradado o situaciones específicas el sistema se comportará de una manera determinada, efectuando las secuencias correspondientes para cada situación.

En las siguientes figuras se ha realizado una muestra del comportamiento de las diferentes señales según el modo de fallo.

- Puerta X de andén encuentra un obstáculo

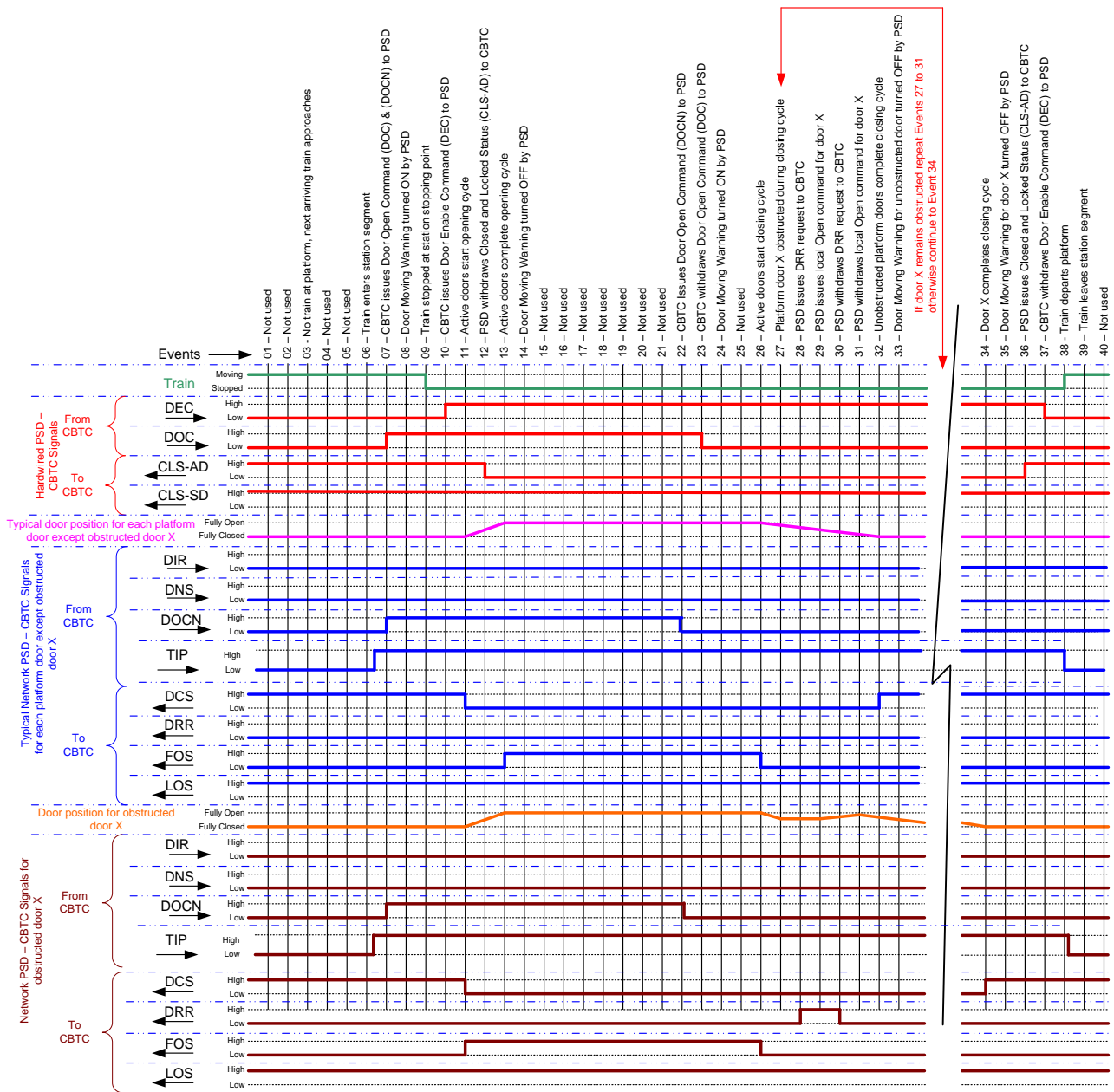


Figura 47: Obstáculo en puerta de andén



- Puerta X de la plataforma fuera de servicio

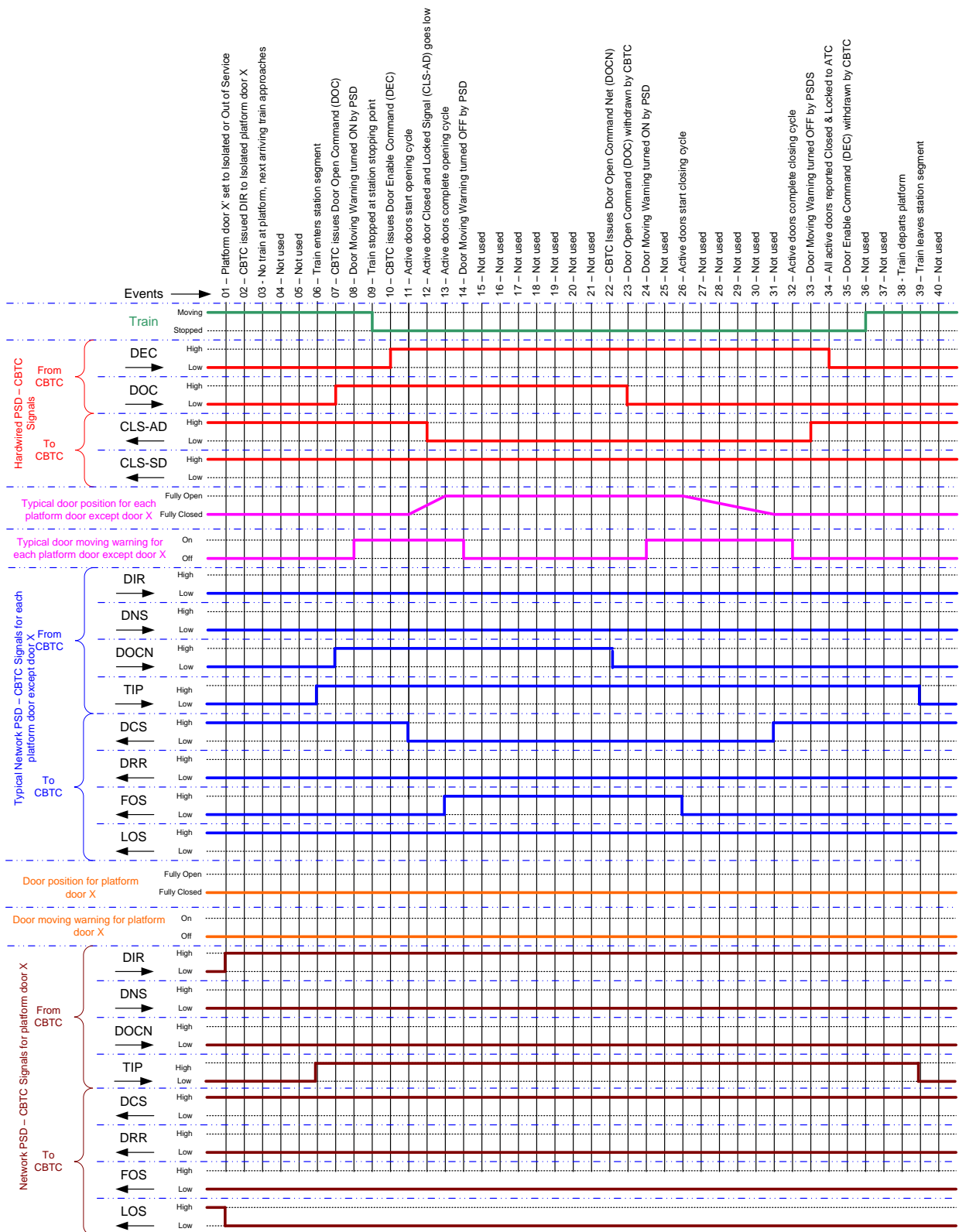


Figura 48: Fallo de una puerta de andén



- Puerta X del tren fuera de servicio

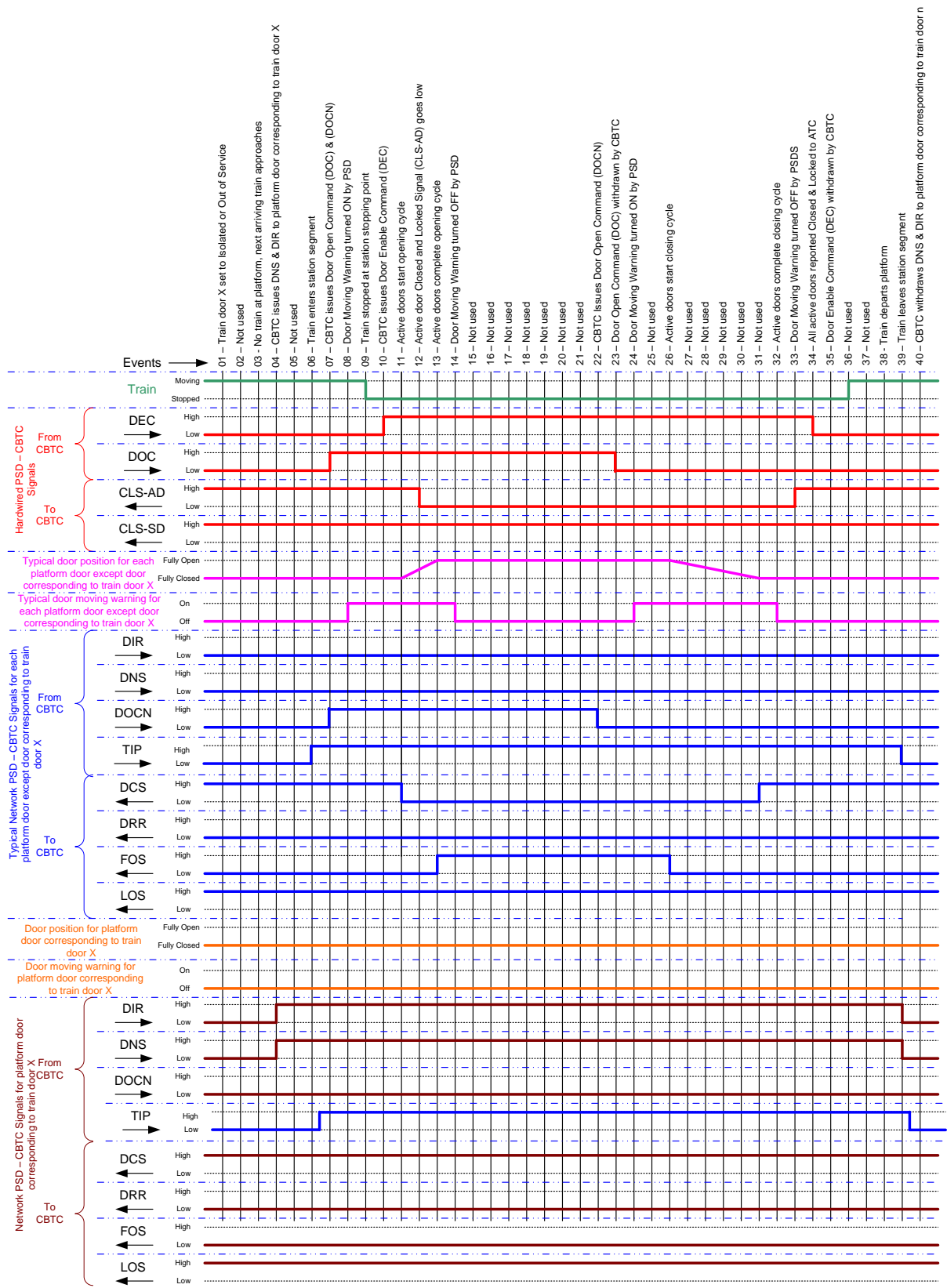


Figura 49: Fallo de una puerta del tren

## 14 SEGURIDAD DEL SISTEMA

### 14.1 Situación 1: Un tren llega a la estación

Un tren no puede entrar en la estación cuando alguna de las puertas de la plataforma no se encuentre cerrada y bloqueada.

Para esta función, el sistema PSD proporciona al equipo de señalización del tren dos señales que aseguran que tanto las puertas activas (PDM) como las puertas estáticas (PEE/PFP) se encuentran efectivamente cerradas y bloqueadas. Estas señales son CLS-AD (puertas automáticas cerradas y bloqueadas) y CLS-SD (puertas estáticas cerradas y bloqueadas) (ver capítulo 11.5).

Siempre que alguna de las dos señales no se encuentre activa, el tren no tendrá permiso para entrar en la estación.

Cuando un tren entra en la estación, las puertas del tren y las puertas de andén se abrirán simultáneamente. En este caso, se utilizan dos señales “Door Enable Command” (DEC) y “Door Open Command” (DOC) proporcionadas por el sistema CBTC. En este caso es el sistema de señalización el que proporciona al menos una de las dos señales con un nivel de seguridad SIL = 3.

### 14.2 Situación 2: Un tren inicia la marcha

Antes de que un tren inicie su marcha, es necesario que todas las puertas del sistema PSD estén completamente cerradas y bloqueadas.

Para esta función, el sistema PSD proporciona al equipo de señalización del tren dos señales que aseguran que tanto las puertas activas (PDM) como las puertas estáticas (PEE/PFP) se encuentran efectivamente cerradas y bloqueadas. Estas señales son CLS-AD (puertas automáticas cerradas y bloqueadas) y CLS-SD (puertas estáticas cerradas y bloqueadas) (ver capítulo 11.5).

## 15 PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

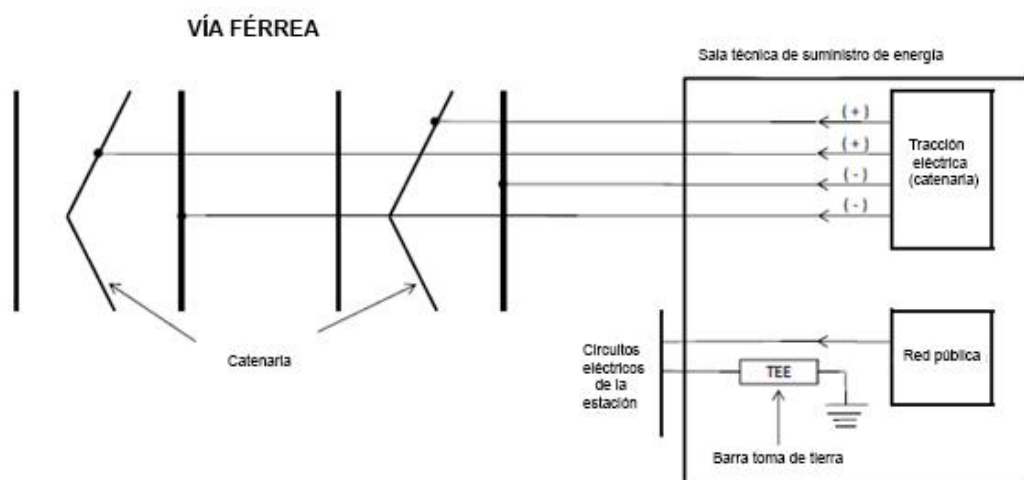
El sistema de puertas de andén PSD en una estación ferroviaria forma una interfaz entre dos sistemas eléctricos completamente diferentes [4], [5]:

- El andén de la estación con suministro de energía pública.
- La vía férrea con su propio suministro de energía.

El sistema PSD se encuentra localizado exactamente entre estos dos sistemas de energía y las dos tensiones de los dos sistemas son peligrosas para la vida de las personas. Los módulos PSD están hechos principalmente de metal, que es un material conductor de la electricidad, por lo que es esencial tener en cuenta todas las medidas eléctricas para garantizar la seguridad de las personas.

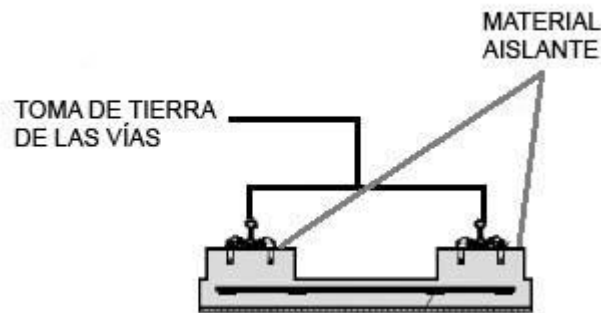
El suministro público del sistema de alimentación eléctrica en España funciona a 220 VAC a una frecuencia de 50 Hz, mientras que la tensión de la catenaria de una línea típica de metro es de 1500 VCC, ambas muy peligrosas para las personas.

Cada estación de metro posee una sala técnica para el suministro de energía, donde se efectúa el suministro a la catenaria y para los circuitos eléctricos de la estación. Por tanto, es importante localizar en cada estación la barra de puesta a tierra de la instalación.



**Figura 50: Esquema unifilar**

El polo positivo del suministro de energía de tracción está conectado a la catenaria. El polo negativo del suministro de energía de tracción está conectado a los raíles de las vías. Para evitar corrientes parásitas, los raíles están aislados de las traviesas.



**Figura 51: Tierra de los raíles**

Las salidas del suministro de energía de la catenaria no se encuentran conectadas al circuito de toma de tierra estructural de la estación.

Un punto importante es no introducir un tercer voltaje de riesgo en el sistema debido a la alimentación de las PSD, por este motivo el sistema utiliza una tensión baja de 24 Vcc para su alimentación, asegurando así la designación del circuito como tipo ELV (Extra Baja Tensión).

## **15.1 Suministro eléctrico**

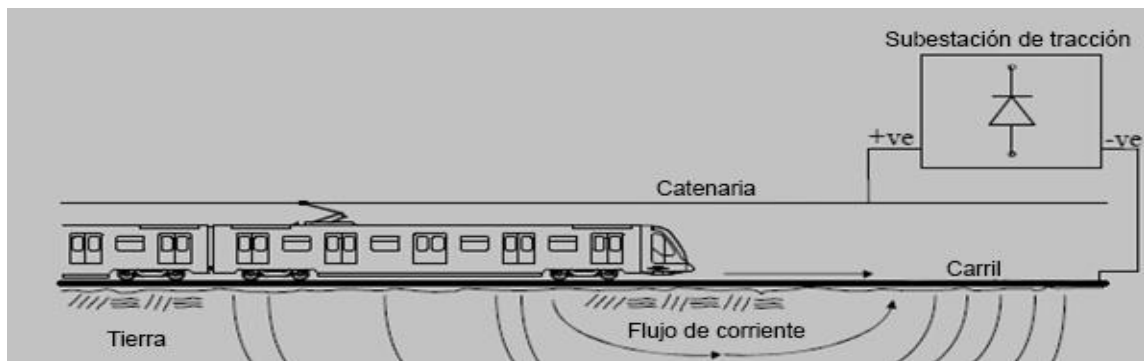
### **15.1.1 Suministro de Energía Público**

El suministro de energía eléctrica implica riesgos eléctricos, directos o indirectos, que deben ser tenidos en cuenta y ante los que se tienen que tomar una serie de medidas para proteger ante posibles accidentes.

Para proteger de estos riesgos, los circuitos eléctricos tienen protecciones que actúan en el caso de que se produzca algún defecto (fallo en el aislamiento, cortocircuito, rayos, electricidad estática, etc.). Por tanto, para que las protecciones puedan actuar correctamente, todas las partes de metal de los equipos deben ser conectadas al neutro de la instalación (N). De este modo el contacto de personas con las partes metálicas de los equipos no producirán diferencias de potencial que puedan originar un accidente.

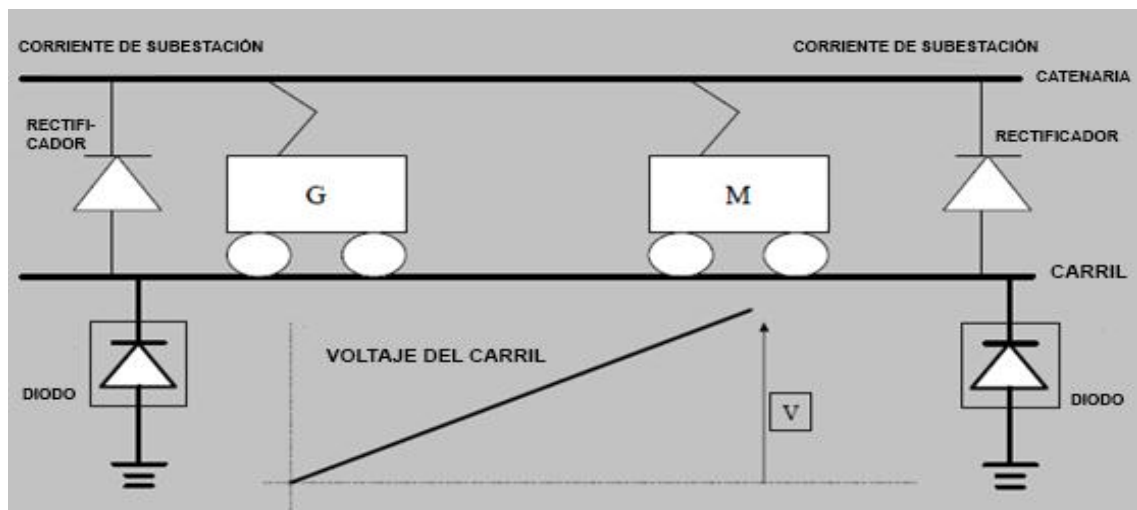
### **15.1.2 Alimentación de energía de la vía férrea**

El polo negativo de la alimentación de energía tracción está aislado de la tierra de la estación. Este aislamiento sirve para minimizar las posibles corrientes de fuga, siendo el principal objetivo obtener un mejor rendimiento del sistema.



**Figura 52: Circulación de la corriente**

Cuando el tren está en movimiento, la corriente consumida por los motores sale a través de los carriles, provocando una caída de tensión importante cuanto más lejos se está del punto de suministro de energía (subestación eléctrica). Así, cuando un tren se encuentra parado en una estación A y otro tren inicia su marcha en una estación B, puede aparecer una diferencia de tensión de hasta 150V entre el carril y la tierra de la estación A.



**Figura 53: Gráfico de tensión entre el carril y la tierra**

Como el tren es metálico, toda su estructura queda en una tensión superior, provocando una diferencia de potencial entre las partes metálicas de las puertas de andén y del tren, pudiendo llegar a valores peligrosos para los pasajeros.

Al encontrarse al borde de la plataforma, la distancia que separa las PSD del tren, es de apenas unos centímetros, por tanto una persona puede causar fácilmente un cortocircuito y recibir un choque eléctrico. Considerando que el andén no tiene aislamiento, una corriente de aproximadamente 70mA recorrería el cuerpo de esta persona.

$$I = 150 \text{ [V]} / 2200 \text{ [\Omega]} \sim 70 \text{ [mA]}$$

De acuerdo con el gráfico de la figura 54, este valor de corriente se sitúa en una zona perjudicial para el cuerpo humano. Por este motivo es importante la instalación de un

dispositivo de protección contra sobretensión conectando los circuitos de toma de tierra, que actúa de una forma rápida para evitar que los pasajeros se vean afectados por este hecho.

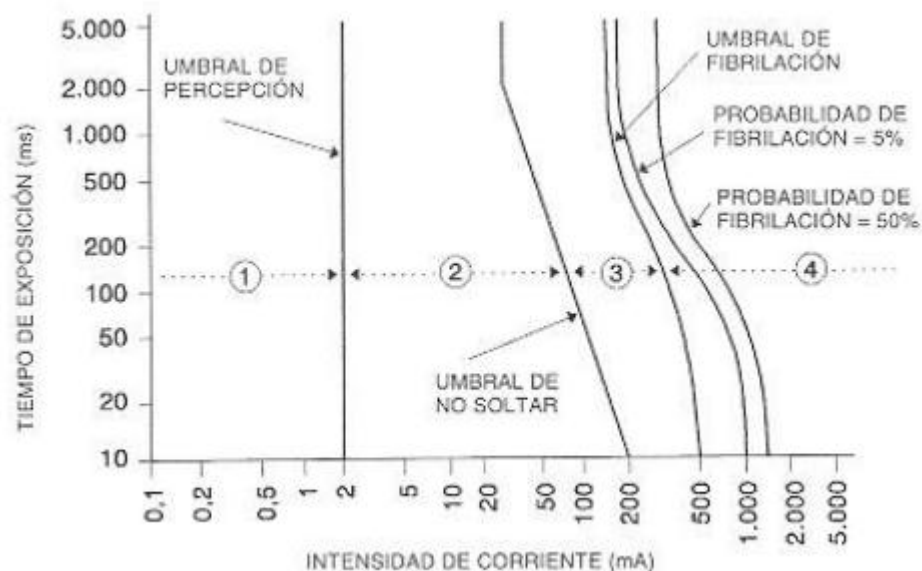


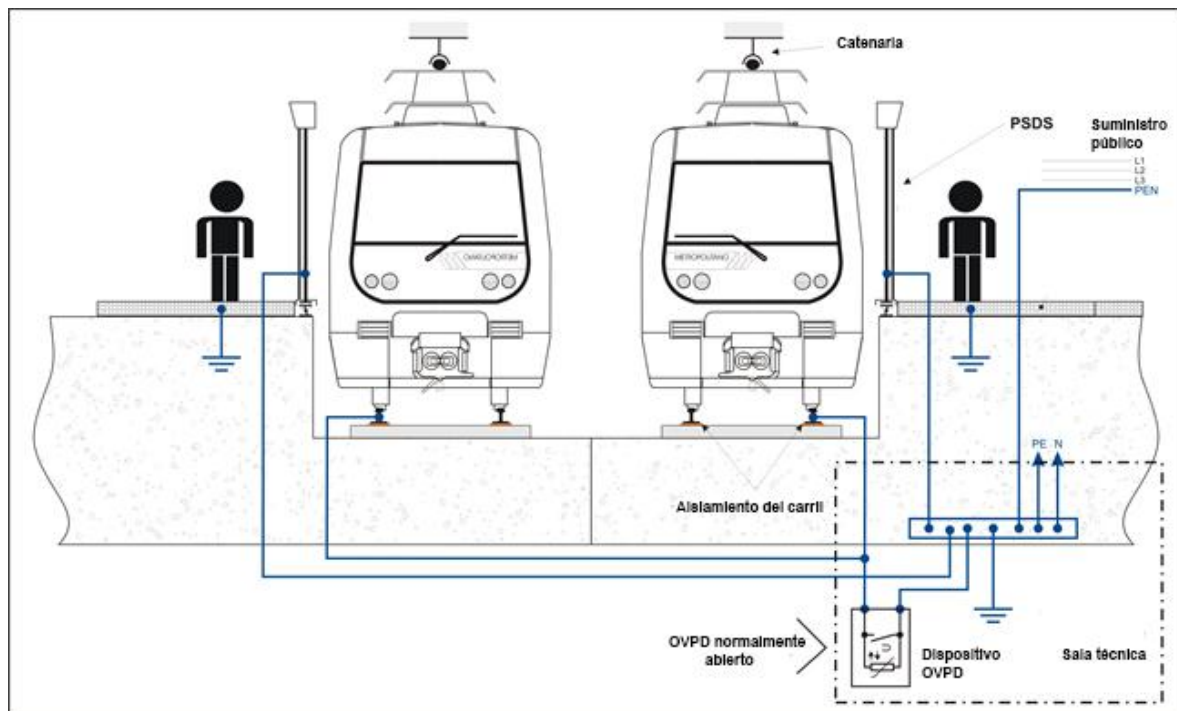
Figura 54: Efecto en el organismo de la corriente continua [16]

## 15.2 Principio de funcionamiento del sistema

La vía y la estación tienen circuitos de puesta a tierra diferentes. Todos los elementos instalados en la plataforma, están ligados al circuito de puesta a tierra de la estación.

Las PSD están instaladas en el borde del andén, y por tanto su circuito de puesta a tierra se conectará al circuito de tierra de la estación. De este modo se garantiza que no se producirán diferencias de potencial entre las PSD y el equipamiento de la plataforma. La estructura metálica de la plataforma está también conectada al circuito de tierra de la estación, garantizando igualmente que no se producirá una diferencia de potencial entre las PSD y el suelo del andén.

Para proteger la integridad de los pasajeros y del resto de usuarios de la estación ante posibles apariciones de diferencias de potencial entre las PSD y el tren, se instala en cada estación un dispositivo de protección contra sobretensiones (OVPD). El principio de funcionamiento de este dispositivo se puede observar en el siguiente esquema.



**Figura 55: Tierra de los raíles**

En el esquema se puede observar que:

- La estructura de las PSD está conectada al circuito de tierra de la estación.
- La estructura de las puertas NO está conectada al circuito de toma de tierra de la vía.
- Los circuitos de toma de tierra de la estación y de la vía, son conectados por medio de un dispositivo de protección contra sobretensión.

### **15.3 Medidas contra choques eléctricos**

De acuerdo a la norma HD 60364-4-41, las partes que pueden poner en riesgo la vida de las personas no deben ser accesibles, y las partes que conductoras que permanecen accesibles, no deben presentar un riesgo para la vida, ni bajo condiciones normales ni en caso de que se produzca algún fallo.

Los riesgos que se pueden identificar en este caso son:

- a) Riesgo causado por la catenaria
- b) Riesgo causado por el suministro de energía pública
- c) Riesgo causado por corrientes de fuga debidas a la propulsión

#### **15.3.1 Riesgo causado por la catenaria**

Existe un riesgo asociado a la catenaria y al suministro de energía de la vía, pero es muy reducido. El riesgo principal es que se produzca una rotura o una caída de la catenaria, y ésta caiga sobre las puertas de andén, provocando una descarga eléctrica a las personas que se encuentren situadas en el andén.

#### **15.3.2 Riesgo causado por el suministro de energía pública**

Este riesgo es fácilmente minimizado debido a la aplicación y cumplimiento de las normas existentes para instalaciones eléctricas en lugares públicos recogidas en el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

#### **15.3.3 Riesgo causado por corrientes de fuga debidas a la propulsión**

Este tipo de riesgo es el más difícil de mitigar de los tres riesgos expuestos. La mejor manera de minimizar este tipo de riesgos es intentar reducir los caminos posibles que pueden realizar las corrientes de fuga, y mejorar el aislamiento del raíl. Por este motivo lo más recomendable es aislar eléctricamente el circuito eléctrico de la zona de vía con la nueva estructura de las puertas de andén, ya que de lo contrario se facilitaría un nuevo camino para aparición de estas corrientes de fuga.

El montaje de un dispositivo de protección contra sobretensión presenta las siguientes ventajas:

- a) La conexión de las PSD al dispositivo OVPD es más seguro que una conexión directa a la tierra de la estación.
- b) Minimiza la posibilidad de apariciones de corrientes de fuga ya que las puertas no están directamente conectadas al carril.
- c) Disminuye las posibilidades de que se produzcan diferencias de potencial entre el carril/tren y la estructura de las puertas de andén.



## **15.4 Características del dispositivo de protección contra sobretensiones (OVPD)**

El dispositivo de protección contra sobretensiones mide continuamente la tensión entre el circuito de puesta a tierra de la vía y el circuito de puesta a tierra de la estación. En el caso de que la tensión entre ambos circuitos difiera de un determinado valor (definido de acuerdo con la norma EN 50122-1), el dispositivo acciona un contador que efectúa un cortocircuito de ambas tierras por un intervalo de tiempo de 10 segundos.

Después de los 10 segundos, el OVPD abre el contacto y vuelve a medir la tensión entre ambos circuitos. Si la tensión entre los dos circuitos se mantiene en un valor superior al programado, el OVPD vuelve a realizar el cortocircuito por un periodo de tiempo de 200ms. Este procedimiento se repite un número de veces programado, y si la tensión se sigue manteniendo en un valor por encima del valor ajustado, el OVPD mantiene cerrado el contacto y genera una señal de error.

El contacto del contador del dispositivo de protección contra sobretensiones que supervisa las dos tierras, es un contacto del tipo “normalmente cerrado”. Esto tiene como resultado que en caso de fallo del sistema OVPD, el contacto queda cerrado y se produce el cortocircuito de las tierras de la estación y de la vía, dando como resultado un estado de “fallo de seguridad”.

El dispositivo estará alimentado con los 24 V de corriente continua internos que forman parte del suministro eléctrico del sistema PSD. Mediante esta configuración, se asegura que el OVPD continuará funcionando en caso de un eventual fallo del suministro público de energía.

## 16 PROCEDIMIENTO DE MONTAJE

A continuación se va realizar una descripción acerca de cómo realizar el correcto montaje de los elementos que componen el conjunto de las PSD.

El montaje se realizará en varias fases, ya que los trabajos de instalación no deben suponer trastornos para la operación comercial, que debe continuar durante el día. Los trabajos se realizarán por la noche, cuando las estaciones estén cerradas al público.

Antes de realizar cualquier tipo de montaje, es necesario que el lugar donde se van a realizar los trabajos esté correctamente acondicionado.

La secuencia de instalación se divide en tres fases, siendo un total de 10 pasos de instalación (ver Figura 56)



**Figura 56: Fases de instalación**

Cada etapa o parte de ella, se encaja dentro del tiempo de instalación nocturno definido, con el objetivo de minimizar el impacto a los pasajeros durante el servicio diurno.

La secuencia de instalación es consistente con la división del sistema PSD en módulos.

Durante las fases de trabajo inicial, la plataforma estará libre de cualquier obstáculo que pudiese existir a nivel del suelo, siendo cubierto cualquier trabajo que pueda suponer un peligro para los pasajeros.

Sólo en la fase de instalación, donde se instalan los módulos PSD, los pasajeros verán los módulos PSD y el crecimiento de la construcción de la estructura.

## 16.1 Estudio de la plataforma

Cada plataforma es inspeccionada por separado, analizándose los datos y posteriormente acondicionando el área para empezar a realizar los trabajos.

Los datos del estudio comprenden el extremo de la plataforma, la posición de parada del tren, la curvatura en la vía y la forma de los extremos de la plataforma.

Con estos datos, se genera un plano de instalación.

## 16.2 Generación de coordenadas para la instalación

Teniendo la referencia de la disposición del tren y su envolvente cinemática, se añade todo el sistema PSD al plano de instalación antes dibujado, generando de este modo todas las coordenadas necesarias para el sistema de marcación de vía.

El sistema de marcación de vía debe determinar con alta precisión cada uno de los módulos PSD en la plataforma. Los requerimientos del sistema de marcación son los siguientes:

- Medidas absolutas y posicionamiento
- Las mediciones deben poder repetirse en cualquier momento
- Alta precisión de posicionamiento de los módulos PSD, sin acumulación de tolerancias
- Alta precisión de medición:  $\pm 1\text{mm}$  en distancias de hasta 100m

## 16.3 Localización y perforación de los agujeros de fijación

Las matrices de perforación se alinean en la plataforma según los datos del sistema de marcación. La matriz es una plantilla que contiene los agujeros en la posición exacta en la que tienen que realizarse sobre la plataforma. Estos agujeros se realizan sobre el suelo existente de la plataforma.

Una vez realizados, y hasta que se vaya a iniciar el próximo paso, los agujeros se cubren mediante tapones de plástico.

## 16.4 Rebaje del suelo

Para poder anclar la estructura al suelo y que toda la estructura esté al mismo nivel, es necesario realizar un rebaje al suelo.

Para realizar dicho rebaje se utilizará un calibre para marcar correctamente la distancia y evitar posibles errores. La mayoría de andenes poseen una loseta de piedra en el final de la plataforma, que es donde se realizará dicho rebaje. Se hace un corte a la distancia adecuada y se retira el resto de losetas sobrantes.

Esto se realiza a lo largo de toda la plataforma. Se instalan placas metálicas en el lugar de las losetas retiradas para mantener el andén al mismo nivel.

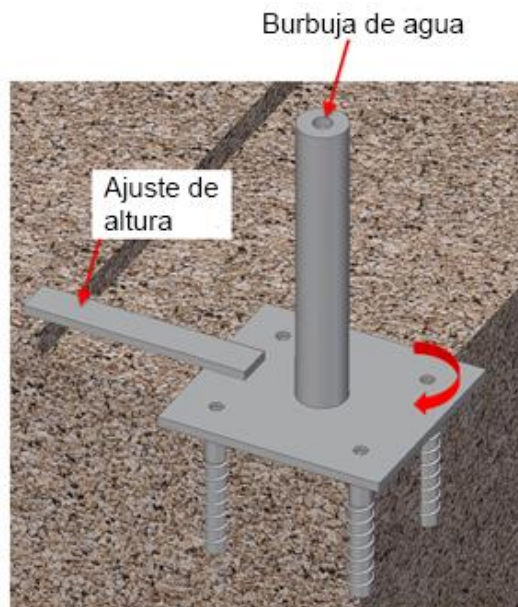
## 16.5 Instalación del anclaje para el tornillo

Una vez que se ha completado el paso anterior, se limpian los restos de argamasa y polvo del hormigón y de los agujeros. Cuando se hayan retirado los restos de polvo de los agujeros, se rellenan con mortero o adhesivo especial y se instalan los anclajes con un destornillador de impacto.



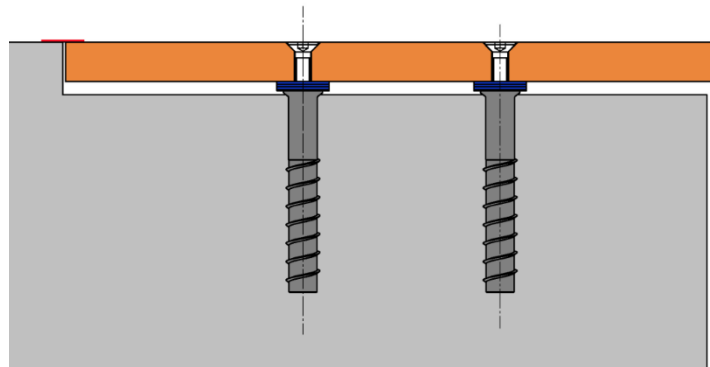
**Figura 57: Ejemplo de elemento de anclaje**

A continuación se colocan las matrices sobre los anclajes y se alinearán en altura con el suelo de la plataforma y con el plano horizontal, para que a la hora de poner las piezas definitivas queden bien sujetas en la posición adecuada.



**Figura 58: Instalación de los anclajes**

Una vez posicionados los anclajes, se retira la matriz y se cubre temporalmente con chapas de madera cortadas en campo para compensar el desnivel existente, atornillándolas a los anclajes, evitando así cualquier obstrucción durante la operación con pasajeros.



**Figura 59: Cobertura temporal de los anclajes**

Esta operación se realiza a lo largo de toda la plataforma.

## **16.6 Instalación del dispositivo OVPD**

Antes de realizar cualquier trabajo de instalación de la estructura, es imprescindible que se realice la instalación del sistema de protección contra sobretensiones OVPD.

Durante la instalación de las puertas de andén, los módulos permanecerán accesibles al público y las puertas automáticas permanecerán abiertas para permitir el intercambio de pasajeros entre el tren y la plataforma.

Durante la fase de la instalación, al igual que cuando todo el sistema esté en funcionamiento, la estructura se encontrará al potencial eléctrico de la estación, mientras que el tren se encontrará al potencial eléctrico de la zona de la vía.

Es posible que los pasajeros puedan tocar alguna de las partes metálicas de los módulos durante la instalación, a la vez que se toca alguna parte metálica de los vagones, lo que provocaría que se cerrase el circuito eléctrico entre el tren y la estructura PSD.

Para proteger a los pasajeros de estos posibles daños eléctricos provocados por la diferencia de potencial existente entre el tren y la estructura metálica de las PSD, es imprescindible realizar la instalación del dispositivo OVPD entre la tierra de la estación y la tierra de la zona de la vía antes de empezar cualquier trabajo de instalación de los módulos.

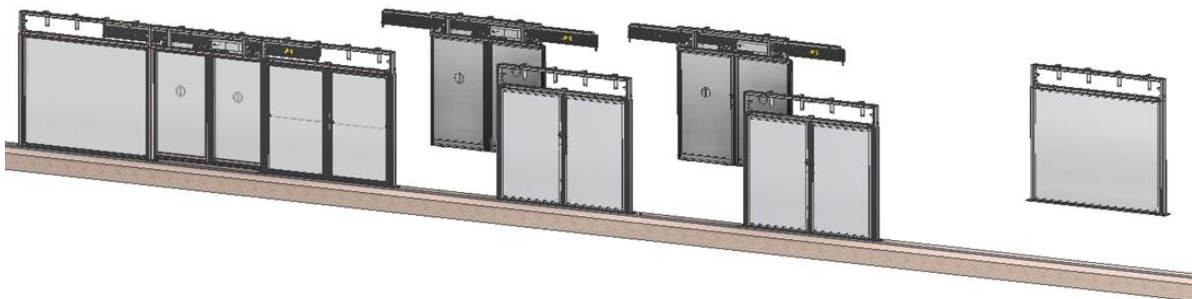
## 16.7 Instalación de los módulos PSD

Con la colocación precisa de los anclajes indicada en el paso anterior, la posición de los módulos de la estructura PSD en la plataforma está determinada en todos los planos (ejes x, y, z)

Para facilitar el transporte y la instalación, los módulos llegan a la estación por medio de un tren de carga. De este modo los trabajos se agilizan y la seguridad es mayor, ya que no es necesario transportar los módulos por el interior de la estación, que al encontrarse a distinto nivel que la superficie, el transporte supondría un riesgo añadido para el personal.

La instalación de los módulos en los anclajes se realizará mediante la ayuda de cuñas o tacos de madera para evitar dañar la estructura. Los módulos PSD se levantarán y colocarán en su lugar por medio de un dispositivo de elevación instalado en el tren de carga.

Como medida de seguridad, al mismo tiempo se instalará una caja temporal (que vendrá preparada con el módulo) en la parte superior para ocultar todos los componentes eléctricos y mecánicos que ya vienen preinstalados, evitando así que los pasajeros puedan acceder a los mismos.



**Figura 60: Instalación de los módulos PSD**

Las variantes que ofrece un sistema modular como éste es que se pueden realizar diferentes combinaciones en el montaje a lo largo de la plataforma, ya que la única regla que hay que seguir es que un módulo PDM no puede ser instalado por sí solo, tiene que ser instalado siempre entre dos módulos PEE.

A modo de ejemplo se muestran tres posibles secuencias de montaje:

- **Variante 1:** Instalación de todos los módulos PFX/PEE en primer lugar y después todos los módulos PDM. Sólo es necesario un equipo de instaladores.

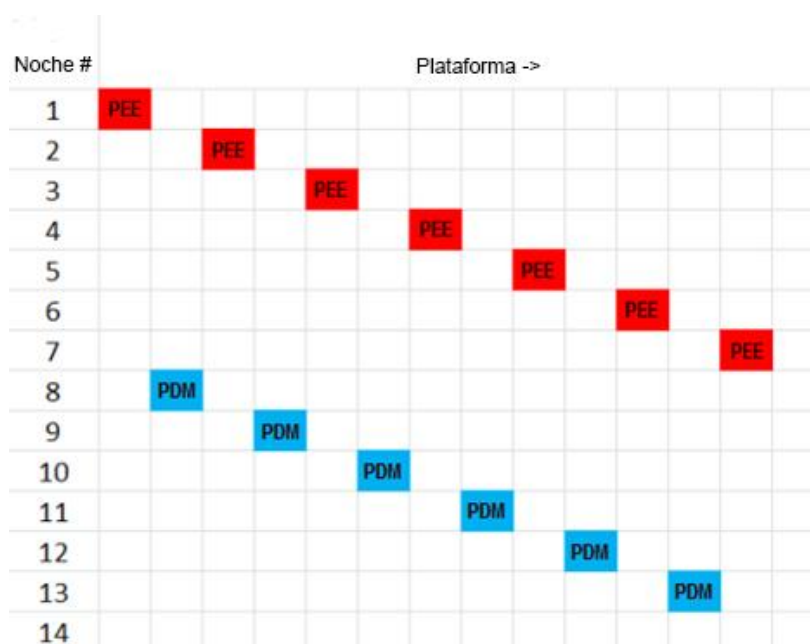


Figura 61: Variante 1 de instalación

- **Variante 2:** La primera noche instalación de los dos primeros módulos PFX/PEE, después un módulo PFX/PEE y un módulo PDM por cada noche de trabajo. Son necesarios dos equipos de instaladores.

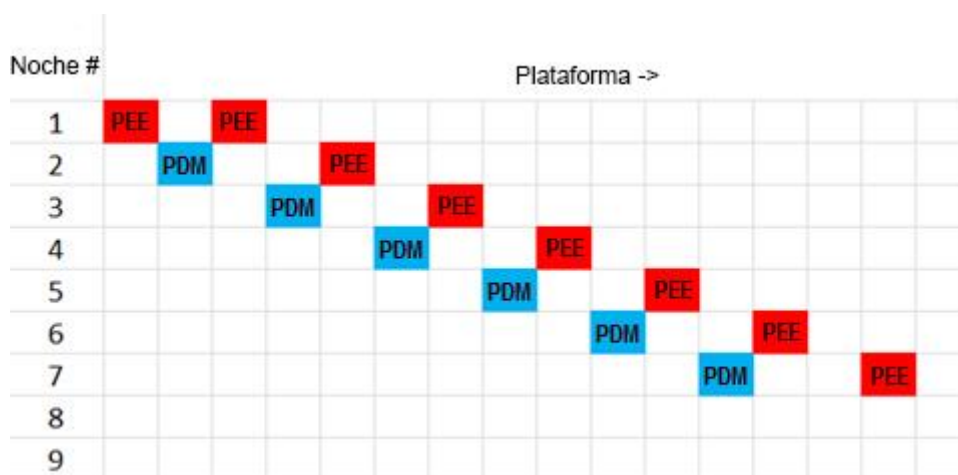
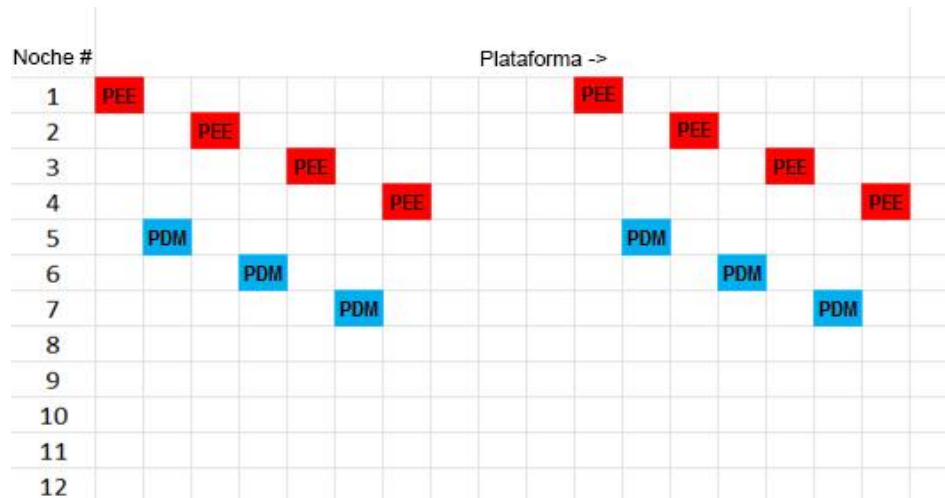


Figura 62: Variante 2 de instalación



- **Variante 3:** Igual que la variante 1, pero con dos equipos de instaladores. Primero se instalan todos los módulos PFX/PEE y después los módulos PDM



**Figura 63: Variante 3 de instalación**

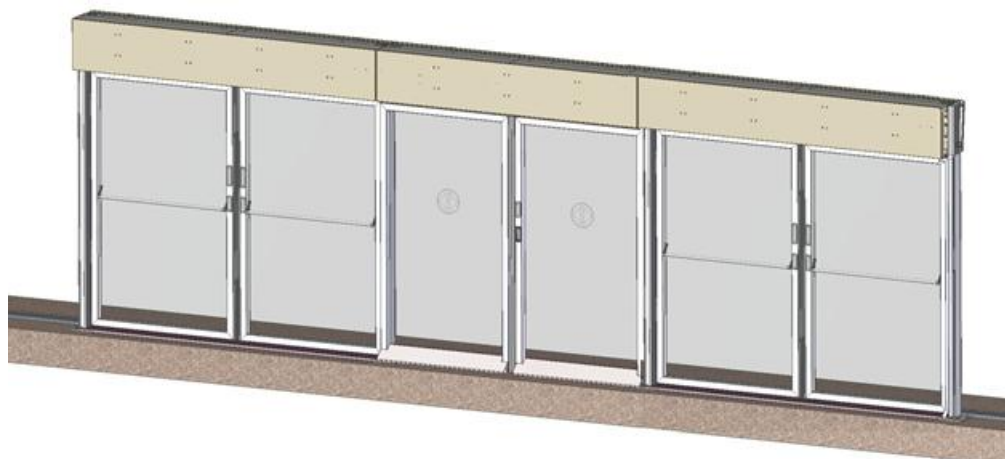
Es posible combinar estas variantes entre sí o bien con otras variantes, dependiendo también del número de operarios disponibles para realizar los trabajos. Estas variantes permiten reducir gradualmente el tiempo de instalación debido a la experiencia adquirida durante el montaje de los equipos.

## 16.8 Instalación de las líneas de energía y control

Las líneas de energía y control se instalarán en los conductos para cables ya existentes a lo largo de la estación.

## 16.9 Instalación de la caja superior

Las cajas superiores temporales deben ser retiradas y reemplazadas por el modelo final. Este trabajo se puede realizar en una única etapa.



**Figura 64: Instalación final**



## 17 SISTEMA AUXILIAR BACK UP

En general, el control de PSD será realizado a través del sistema de señalización CBTC, que proporciona las señales de apertura y cierre de puertas, así como la monitorización continua del estado de las puertas.

Pero en el caso en el que sea necesario instalar las puertas de plataforma en estaciones en las que el sistema CBTC todavía no esté disponible, es conveniente disponer de un sistema que permita la operación automática de las puertas, sin necesidad de actuación humana. Este sistema será referido como sistema Auxiliar Backup.

### 17.1 Condiciones generales

El sistema auxiliar Backup,  $AUX_{BK}$ , está pensado para casos en los que no esté disponible el sistema CBTC, bien sea porque todavía está siendo instalado o porque hay un fallo en los equipos de vía o tren. Cuando esto ocurre, el equipamiento  $AUX_{BK}$  se utiliza para generar las señales de apertura y cierre de manera independiente al sistema CBTC.

Para generar los comandos de apertura y cierre, el sistema  $AUX_{BK}$  debe asegurar que el tren paró en el área determinada de la estación, así como detectar el movimiento de las puertas.

En cada Panel de Control Manual (PCM) existirá una llave que al activar el sistema  $AUX_{BK}$  aísla galvánicamente las PSD del sistema de señalización y conecta las señales generadas por el sistema  $AUX_{BK}$  a las PSD. Este sistema funcionará, por tanto, de manera independiente al sistema de señalización. En los trenes, no es necesario realizar ninguna actuación, permitiendo el sistema detectar distintos tipos de tren.

Así como ocurre para la operación de puertas a través del sistema CBTC, en el caso de que éstas se encuentre controladas por el sistema  $AUX_{BK}$ , las puertas del tren y las puertas automáticas de la plataforma deben operar de forma sincronizada, intentando que el inicio y fin de los movimientos de las puertas de tren y andén sean lo más próximo posible.

Todas las funciones son relevantes en lo que a materia de seguridad se refiere, de acuerdo a la norma IEC 61508. Además, el sistema debe presentar un nivel de seguridad igual o superior a SIL 3.

## 17.2 Descripción del hardware

En la siguiente figura se pueden observar la disposición de los equipos tanto en las vías como en la plataforma que componen este sistema.

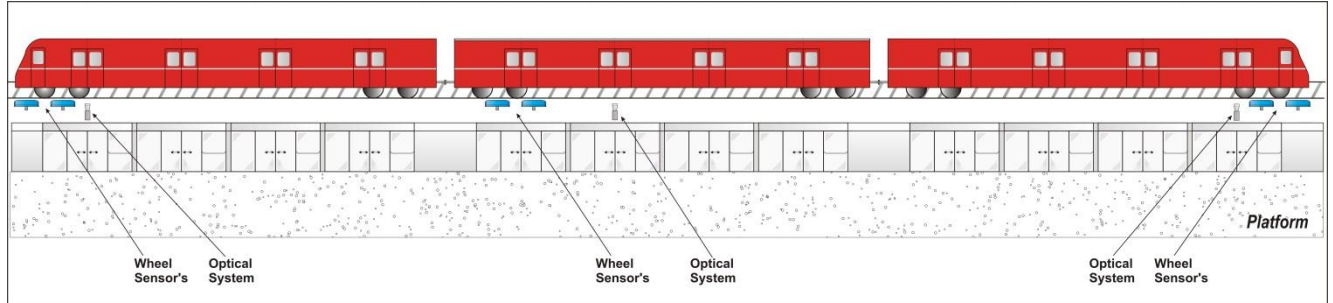


Figura 65: Disposición de los equipos AUX<sub>BK</sub>

### 17.2.1 Interruptores de entrada a la estación

Para detectar que un tren se está acercando a la estación, se colocarán unos interruptores de carril a unos metros de la entrada de la estación. Estos interruptores detectarán el paso del tren y enviará una señal al módulo de control central para que la unidad electrónica de procesamiento pase del modo de reposo al modo activo.

### 17.2.2 Sensores de ruedas

Existirán seis sensores situados en la parte frontal, media y trasera de la posición teórica de parada del tren, teniendo de esta forma una mayor fiabilidad en cuanto al posicionamiento correcto del tren a la hora de la detención.

Dos sensores formarán un par para detectar y verificar la posición correcta del tren. Los detectores estarán fijados a los raíles y alimentados por medio de la unidad de procesamiento. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de disposición de los elementos del sistema. La tolerancia de la posición de parada del tren por medio de este sistema será de  $\pm 60\text{cm}$ .

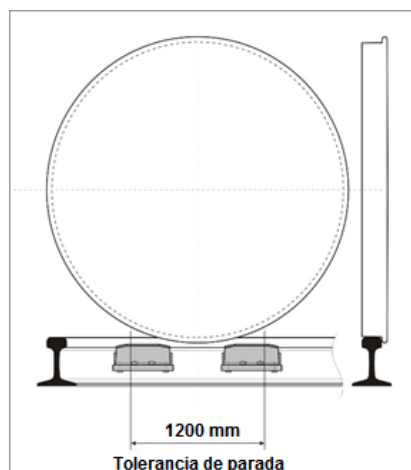


Figura 66: Ejemplo de posición de los sensores de posición de parada

### 17.2.3 Sistema óptico

Para detectar en qué estado se encuentran las puertas de los vehículos, se utilizará cámaras 3D, instaladas en la parte superior de las PSD.

Se utilizarán 3 cámaras, situadas en diferentes puertas, para así aumentar la disponibilidad del sistema. A través de las cámaras, será monitorizado el estado de las puertas del tren. Al menos 2 de las 3 cámaras deben detectar el movimiento de apertura o cierre de las puertas del tren para que el comando correspondiente de apertura o cierre sea enviado a las PSD.

### 17.2.4 Unidad electrónica de procesamiento

La unidad de procesamiento analiza los datos de los sensores ópticos de la plataforma y de los sensores de las ruedas instalados en las vías. Cada unidad es capaz de gestionar dos detectores de ruedas y un sistema óptico.

Esta unidad procesa las señales de cada uno de los sensores y envía los datos al módulo de control central, que actúa de acuerdo al estado de estas señales. Para alimentar unidad de procesamiento, se utilizará la alimentación de 24 V DC del sistema PSD.

### 17.2.5 Módulo de control central

Para gestionar la información proveniente de la unidad de procesamiento, y funcionar de interfaz entre el sistema AUX<sub>BK</sub> y el sistema PSD, es necesario un módulo de control que gestione ambas tareas.

La tarea principal de este componente es la de analizar los datos provenientes de todas las unidades instaladas en la plataforma, y generar las señales necesarias para que las puertas PSD ejecuten las ordenes necesarias para su funcionamiento.

En la siguiente figura se muestra un esquema general del hardware completo de sistema AUX<sub>BK</sub>.

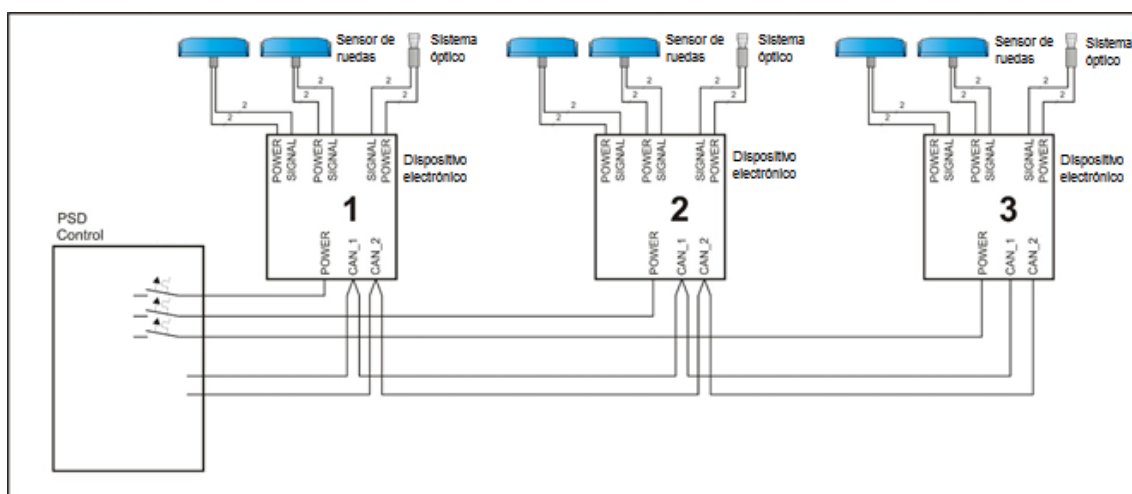


Figura 67: Hardware sistema AUX<sub>BK</sub>

### 17.3 Descripción general de funcionamiento

En el caso de que no se encuentre ningún tren en la estación, las unidades electrónicas entrarán en modo de reposo. En este modo se apagan las cámaras 3D, prolongando así el tiempo de vida de las mismas.

Cuando un tren está entrando en la estación, la unidad electrónica de procesamiento se activa, encendiendo las cámaras.

El módulo de control central está continuamente monitorizando las informaciones provenientes de los sensores de rueda. Al detectar que al menos 2 de las 3 áreas de detección de tren indican que el tren está correctamente situado, se activa un temporizador de 2 segundos antes de determinar que las puertas están habilitadas para ser abiertas. Este temporizador reduce, pero no mitiga totalmente la posibilidad de no estar el tren completamente parado cuando se detectan que las ruedas del tren están en la posición esperada.

Asimismo, se están monitorizando las informaciones provenientes de las cámaras 3D. Una vez que al menos 2 de las 3 cámaras detectan movimiento de las puertas, se determina que las puertas de tren están siendo abiertas.

Cuando el sistema  $AUX_{BK}$  determina que ambos estados, puertas habilitadas y puertas de tren abriendo, se genera el comando de apertura para las PSD. En caso de faltar alguna de las 2 señales anteriores, no se genera el comando de apertura.

Cuando las puertas del tren comienzan a cerrarse, las cámaras 3D detectan este evento. Si al menos 2 de las 3 cámaras detectan que las puertas del tren se están cerrando, se genera el comando de cierre de puertas de andén.

Una vez que el tren abandona la estación, las unidades electrónicas de procesamiento vuelven a entrar en modo de reposo.

## 18 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA PSD CON EL SISTEMA CBTC

En esta sección se describe el proceso de integración entre los equipos PSD y el sistema de señalización CBTC.

Cuando la instalación se realiza sobre un sistema de señalización CBTC ya en funcionamiento es necesario definir una estrategia de migración, ya que se necesita integrar el sistema PSD con el sistema CBTC mientras continúa la operación comercial.

Para evitar cambios innecesarios en el sistema CBTC, que supondría un mayor tiempo en las pruebas y en la puesta en marcha del servicio, se realizarán puentes en determinadas señales que permitirán la operación de los trenes sin tener las puertas de andén en servicio. De esta forma se realizará un solo cambio de software del sistema que incluya la funcionalidad de puertas de andén, en lugar de realizar cambios cada vez que se ponga en servicio una estación.

### 18.1 Fase de instalación

Durante el proceso de instalación de las PSD, todas las puertas automáticas PDM permanecerán abiertas para permitir el intercambio de pasajeros entre el tren y la plataforma, independientemente de la presencia o no de un tren en la estación. Un tren con conducción automática parará en el lugar adecuado, alienado con las puertas de andén. En todo caso, si el tren no se detiene en la posición correcta, el maquinista estará autorizado a mover el tren hasta la posición correcta.

Las entradas vitales necesarias por parte del sistema PSD hacia el CBTC para permitir la operación (CLS-AS y CLS-SD) permanecerán puenteadas durante la fase de instalación. Esto permitirá al tren entrar en la estación y salir de ella solo con la supervisión de las puertas del tren.

Una señal no vital en el equipo PLC de la estación (parte del alcance del CBTC), estará igualmente puenteada para indicar que las puertas PSD todavía no están en servicio. De esta manera, se modifica el interfaz de visualización con el centro de control, evitando que se muestre cualquier información relacionada con el sistema de puertas de andén (señales de estado, alarmas, etc.) en esa estación.

Para que el sistema OVPD actúe en el caso de una diferencia de potencial elevada entre las tierras de la estación y de la zona de vías, la señal TIP que indica que un tren se encuentra en la plataforma, también será manualmente forzada a su estado de activación.

## 18.2 Pruebas de integración

Una vez que se ha completado la instalación en la estación, incluidos todos los equipos en plataforma y en la sala técnica, se realizarán una serie de pruebas para garantizar la correcta integración de las puertas de andén con el sistema CBTC. Las pruebas se realizarán en cada estación por separado, para comprobar que no existe ningún problema en el control y el envío de señales.

Estas pruebas se realizarán por la noche, fuera del horario de operación comercial, y será necesario realizar las siguientes acciones:

- Retirar los puentes de las entradas vitales CLS-AD y CLS-SD que las mantenían en estado de activación y conectarlas al sistema PSD.
- Retirar el puente de la entrada no vital del PLC de la estación. Esto permitirá la comunicación de las puertas con el centro de control.

Los tests de integración incluyen:

- Pruebas de operación con el CBTC.
- Pruebas de funcionamiento con el sistema AUX<sub>BK</sub>.
- Funcionamiento manual con el panel PCM.

Una vez realizadas las pruebas de integración para la estación, se volverán a realizar los puentes en las señales para permitir la operación normal del tren durante el día.

## 18.3 Comisionado de las PSD

Una vez que se hayan realizado todas las pruebas en la estación y se haya generado toda la documentación asociada, se realizará el comisionado del sistema PSD.

La operación comercial podrá comenzar para cada estación por separado sin la necesidad de que el sistema esté instalado en toda la línea, ya que sólo habrá que retirar los puentes realizados a las señales vitales y no vitales, igual que para las pruebas nocturnas.

A partir de este momento el funcionamiento del sistema de puertas de andén será completo. La información referente a las puertas de andén será recibida en el centro de control y se podrán comprobar las señales de alarma y el estado de las puertas.

El sistema OVPD comenzará a operar como se describe en el capítulo 15 Protección contra sobretensiones.

## 18.4 Operación normal con el sistema CBTC

En condiciones normales de operación, esto es, con el CBTC y las PSDs operando sin ningún fallo, estarán disponibles las siguientes funciones:

- Monitorización de las señales vitales de las puertas. En el caso de que las señales CLS-AD o CLS-SD no se reciban por parte del CBTC, el sistema colocará una

restricción de velocidad a 0 km/h en la estación, de manera que prevendrá de la entrada o salida de un tren ésta.

- Apertura de las puertas cuando el tren se encuentre en la posición correcta de detención.
- Supervisión de obstáculos en los movimientos de las puertas de andén, actuando en consecuencia.
- Cierre de las puertas.
- Salida del tren una vez que todas las puertas estén debidamente cerradas y bloqueadas.
- Activación del equipo OVPD.
- Aislamiento individual de las puertas de andén.
- Indicaciones acústicas y luminosas a los pasajeros.

## 19 PUESTA EN SERVICIO SIN UN SISTEMA CBTC

En caso de líneas en el que todavía no exista un sistema de señalización CBTC, y su instalación se trate de un proyecto diferente a la instalación de un sistema de puertas de andén, la integración y puesta en servicio de las PSD se podrá realizar de manera independiente como se describe en este apartado.

El control de las puertas se realizará por medio del sistema  $AUX_{BK}$  hasta que se ponga en funcionamiento el sistema CBTC.

### 19.1 Fase de instalación

Durante el proceso de instalación de las PSD, todas las puertas automáticas PDM permanecerán abiertas para permitir el intercambio de pasajeros entre el tren y la plataforma, independientemente de la presencia o no de un tren en la estación. El maquinista deberá detener el tren en la posición adecuada, alineado con las puertas de la plataforma.

En caso de existir algún tipo de señal en el sistema actual de señalización que pueda monitorizar el estado de las puertas y actúe en consecuencia impidiendo el movimiento del tren, se realizará un puente sobre esa señal durante esta fase.

Una señal no vital en el equipo PLC de la estación (parte del alcance del CBTC), estará puenteada para indicar que las puertas PSD todavía no están en servicio. De esta manera, se modifica el interfaz de visualización con el centro de control, evitando que se muestre cualquier información relacionada con el sistema de puertas de andén (señales de estado, alarmas, etc.) en esa estación.

Para que el sistema OVPD actúe en el caso de una diferencia de potencial elevada entre las tierras de la estación y de la zona de vías, la señal TIP que indica que un tren se encuentra en la plataforma, también será manualmente forzada a su estado de activación.

### 19.2 Pruebas de integración

Una vez que se ha completado la instalación en la estación, incluidos todos los equipos en plataforma y en la sala técnica, se realizarán una serie de pruebas para garantizar el funcionamiento correcto de las puertas de andén.

Estas pruebas se realizarán por la noche, fuera del horario de operación comercial, y será necesario realizar las siguientes acciones:

- Retirar los puentes del sistema de señalización que monitorizan el estado de las puertas.
- Activar el sistema  $AUX_{BK}$ .

Los tests de integración incluyen:

- Pruebas de funcionamiento con el sistema  $AUX_{BK}$ .



- Funcionamiento manual con el panel PCM.

Una vez realizadas las pruebas de integración para la estación, se volverán a realizar los puentes en las señales para permitir la operación normal del tren durante el día.

### 19.3 Comisionado de las PSD

Una vez que se hayan realizado todas las pruebas en la estación y se haya generado toda la documentación asociada, se realizará el comisionado del sistema PSD.

La operación comercial podrá comenzar para cada estación por separado sin la necesidad de que el sistema esté instalado en toda la línea, ya que sólo habrá que retirar los puentes realizados a las señales vitales y no vitales, igual que para las pruebas nocturnas.

A partir de este momento el funcionamiento del sistema de puertas de andén se realizará por medio del sistema AUX<sub>BK</sub> hasta que la puesta en marcha del sistema CBTC.

### 19.4 Operación con el sistema AUX<sub>BK</sub>

El sistema Auxiliary back-up permite funcionar al sistema PSD en caso de que el sistema CBTC no esté disponible.

La activación del sistema Back-up se realiza mediante el panel de control manual PCM. Una vez que esté activado, el sistema PSD recibirá la señal de activación de las puertas a través del sistema AUX<sub>BK</sub> como se describe en el capítulo 17 Sistema Auxiliar Back Up.

Es importante recordar que el tren debe detenerse en una posición exacta, dentro de unos márgenes, que permita la detección del tren en la zona correcta y la apertura de las puertas de andén. En caso contrario, las puertas no se abrirán.

## 20 PRESUPUESTO GENERAL

Debido a que la instalación de unas puertas de andén en una estación se presenta una gran cantidad de factores, desde todos los materiales a utilizar, como los costes de mantenimiento de una empresa de ingeniería, pasando por los recursos humanos utilizados. Por ello se presenta un presupuesto general, con el que se pretende realizar una estimación de los costes que supone la implantación de este sistema.

El presupuesto se ha dividido en dos partes, una primera parte que contempla los costes relacionados con el desarrollo e instalación del sistema PSD en la primera estación, y una segunda parte en la que se presentan los costes en las estaciones sucesivas.

### 20.1 Primera estación

La primera estación o estación prototipo presenta unos costes más elevados que el resto de estaciones. Esto se debe a que es la estación en la cual se realizan los principales trabajos sobre el diseño, se contemplan posibles modificaciones y la que sirve de modelo para el resto de estaciones de toda la línea.

A continuación se hace un desglose de los costes asociados a la primera estación.

#### 20.1.1 Resumen de costes en Material

Dentro de los materiales están contemplados, entre otros:

- Fabricación
- Módulos PDM
- Módulos PEE
- Módulos PFP
- Módulos PFX
- Equipo OVPD
- Motores para las puertas deslizantes
- Elementos de fijación (tornillos, tuercas, pernos, etc.)
- Cableado

TOTAL MATERIALES ..... 300.000€

### 20.1.2 Resumen costes Transporte

Con el objetivo de reducir los costes de fabricación lo máximo posible, se considera que ésta se realiza en un país asiático, en el que el coste de producción es notablemente menor que el coste de producción en un país occidental.

Los distintos tipos de transporte necesarios son:

- Transporte en barco hasta un puerto en España
- Transporte por carretera hasta el almacén
- Transporte por carretera hasta el depósito de la empresa responsable de la red de metro
- Alquiler y transporte por medio de una dresina hasta la estación

TOTAL TRANSPORTE ..... 80.000€

### 20.1.3 Resumen costes Diseño del prototipo

La fase de diseño por parte de una empresa de ingeniería, representa la mayor parte del coste total del proyecto.

Todos los costes asociados a las distintas fases de la ingeniería del proyecto están contemplados en este apartado. Algunas de estas fases son:

- Estudio previo
- Análisis de requisitos
- Arquitectura del sistema y diseño preliminar
- Diseño en detalle
- Pruebas de verificación
- Estudio de seguridad

TASA HORARIA ESTIMADA DEL PERSONAL DE INGENIERÍA ..... 50 €/hora

HORAS DE TRABAJO ..... 8 horas/día

NÚMERO DE PERSONAS DEDICADAS ..... 10 personas

DURACIÓN ESTIMADA ..... 150 días

TOTAL DISEÑO PROTOTIPO ..... 600.000 €

#### 20.1.4 Resumen costes Estructura prototipo

Para poder validar la instalación, es necesaria la fabricación de un prototipo. Sobre esta unidad se realizarán todas las pruebas de homologación y no será apta para la operación comercial.

Los costes asociados al prototipo son:

- Estructura tipo (módulos PSD)
- Materiales de pruebas
- Pruebas en laboratorios externos
- Pruebas tipo

TOTAL ESTRUCTURA PROTOTIPO ..... 80.000 €

#### 20.1.5 Resumen costes Instalación / mano de obra

Los costes de la mano de obra necesaria para la instalación de la primera estación serán superiores a la instalación del resto de estaciones, ya que probablemente surjan complicaciones y la necesidad de realizar los primeros ajustes.

La realización de trabajos nocturnos supondrá un extra a la tasa horaria del personal de instalación.

TASA HORARIA ESTIMADA DEL PERSONAL DE INSTALACIÓN ..... 22 €/hora

HORAS DE TRABAJO ..... 4 horas/día

NÚMERO DE PERSONAS DEDICADAS ..... 30 personas

DURACIÓN ESTIMADA ..... 120 días

TOTAL INSTALACIÓN / MANO DE OBRA ..... 316.800 €

### 20.1.6 Resumen costes Desplazamiento

La primera fase del proyecto será la que más costes represente en concepto de viajes y dietas debido a que será en la que se realicen más reuniones con el cliente para cerrar el contrato y los diferentes requisitos del sistema. Estos costes dependerán sobretodo de la distancia entre las oficinas de la empresa de ingeniería y la ciudad en la que se realiza la instalación.

El coste de dietas y viajes por parte del personal de ingeniería puede comprender, entre otros:

- Desplazamiento a reuniones con el cliente
- Recursos de ingeniería provenientes de otro centro de trabajo para enseñanza
- Desplazamientos a pruebas en laboratorios externos
- Desplazamientos al lugar de la instalación

TOTAL DESPLAZAMIENTO ..... 80.000 €

### 20.1.7 Resumen costes Impuestos

Todos los costes llevan a asociados una serie de impuestos que deberán verse reflejados también en el cómputo de gastos.

TOTAL IMPUESTOS ..... 30.000 €

### 20.1.8 Resumen Costes Organización

Los costes de organización se dividen en costes indirectos y margen de beneficios.

Los costes indirectos son aquellos costes que no tienen una identificación clara con las unidades de actividad específicas o de producción. Por tanto, aún cuando son costes que contribuyen a la obtención del trabajo de la empresa, no pueden ser asignados a un proyecto en concreto de una forma directa.

Algunos costes de organización son:

- Costes comerciales
- Personal de administración y RRHH
- Costes de investigación y desarrollo
- Personal de almacenes y transportes
- Alquiler de oficinas

Por otra parte, para que un proyecto sea rentable para una empresa, éste debe contar con un margen de beneficios que repercutirá en el precio final.

TOTAL COSTES DE ORGANIZACIÓN ..... 15% sobre precio final

### 20.1.9 Total costes instalación en primera estación

En la siguiente tabla se representa el coste total de la instalación en la primera estación.

	Precio / Hora (€)	Horas / día	Numero personas	días	Valor
<b>Material</b>					300.000 €
<b>Transporte</b>					80.000 €
<b>Instalación Mano de Obra</b>	22	4	30	120	316.800 €
<b>Diseño prototipo</b>	50	8	10	150	600.000 €
<b>Estructura Prototipo</b>					80.000 €
<b>Desplazamiento</b>					80.000 €
<b>Impuestos</b>					30.000 €
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>1.486.800 €</b>
<b>Costes Organización</b>					223.020 €
<b>PRECIO FINAL</b>					<b>1.709.820 €</b>

Tabla 5: Costes primera estación

## 20.2 Costes resto de estaciones

El resto de estaciones a instalar, tendrán un coste de desarrollo menor al de de la primera estación. Los principales trabajos de diseño por parte de ingeniería ya se han realizado para la primera instalación, lo que supone que para el resto de estaciones sólo serán necesarios pequeños trabajos de adaptación y configuración.

A continuación se hace un desglose de los costes asociados a la primera estación.

### 20.2.1 Resumen costes de Material

Estos costes serán los mismos que los costes representados en la primera estación, al ser los materiales a utilizar los mismos para cada estación.

Dentro de los materiales están contemplados, entre otros:

- Fabricación
- Módulos PDM
- Módulos PEE
- Módulos PFP
- Módulos PFX
- Equipo OVPD
- Motores para las puertas deslizantes
- Elementos de fijación (tornillos, tuercas, pernos, etc.)
- Cableado

TOTAL MATERIALES ..... 300.000€

### 20.2.2 Resumen costes de Transporte

Los costes serán los mismos que para la estación prototipo.

Los distintos tipos de transporte necesarios son:

- Transporte en barco hasta un puerto en España
- Transporte por carretera hasta el almacén
- Transporte por carretera hasta el depósito de la empresa responsable de la red de metro
- Alquiler y transporte por medio de una dresina hasta la estación

TOTAL TRANSPORTE ..... 80.000€

### 20.2.3 Resumen costes de diseño resto de estaciones

Aunque los trabajos a realizar son menores a los realizados para la primera estación, sigue representando una parte importante del coste total, aunque no supone un porcentaje tan alto como para la primera instalación.

Algunas de estas fases que siguen siendo necesarias desarrollar son:

- Diseño en detalle
- Pruebas serie
- Estudios de seguridad

TASA HORARIA ESTIMADA DEL PERSONAL DE INGENIERÍA ..... 50 €/hora  
HORAS DE TRABAJO ..... 8 horas/día  
NÚMERO DE PERSONAS DEDICADAS ..... 6 personas  
DURACIÓN ESTIMADA ..... 60 días

TOTAL DISEÑO RESTO ESTACIONES ..... 144.000 €

### 20.2.4 Resumen costes Instalación / mano de obra

Los costes de la mano de obra necesaria para la instalación de las sucesivas estaciones menores al de la primera estación. Esto es debido a que al tratarse de un sistema modular, el aprendizaje de los instaladores a medida que se avance en los trabajos en las estaciones, reducirá el tiempo necesario para realizar la instalación en la plataforma y los posibles errores de montaje.

Por el contrario, la realización de trabajos nocturnos supondrá un extra a la tasa horaria del personal de instalación.

TASA HORARIA ESTIMADA DEL PERSONAL DE INSTALACIÓN ..... 22 €/hora  
HORAS DE TRABAJO ..... 4 horas/día  
NÚMERO DE PERSONAS DEDICADAS ..... 30 personas  
DURACIÓN ESTIMADA POR ESTACIÓN ..... 100 días

TOTAL INSTALACIÓN / MANO DE OBRA ..... 264.000 €



### **20.2.5 Resumen costes Desplazamiento**

En las siguientes fases del proyecto, el número de desplazamientos se verá reducido, por lo que el total de estos costes se verá reducido.

El coste de dietas y viajes por parte del personal de ingeniería puede comprender, entre otros:

- Desplazamiento a reuniones con el cliente
- Recursos de ingeniería provenientes de otro centro de trabajo para enseñanza
- Desplazamientos a pruebas en laboratorios externos
- Desplazamientos al lugar de la instalación

TOTAL DESPLAZAMIENTO ..... 40.000 €

### **20.2.6 Resumen costes Repuestos**

En el acopio de material, se ha de contemplar la necesidad de tener una partida destinada a la compra de repuestos para acpiarlos en el almacén y poder tener una pieza de recambio en caso de fallo o rotura de alguno de los componentes.

Estos costes sólo se contemplan en las estaciones sucesivas y no para la primera estación.

TOTAL REPUESTOS ..... 20.500 €

### **20.2.7 Resumen costes Impuestos**

Todos los costes llevan a asociados una serie de impuestos que deberán verse reflejados también en el cómputo de gastos.

TOTAL IMPUESTOS ..... 30.000 €

## 20.2.8 Resumen Costes Organización

Los costes de organización se dividen en costes indirectos y margen de beneficios. Los costes indirectos son aquellos costes que no tienen una identificación clara con las unidades de actividad específicas o de producción. Por tanto, aún cuando son costes que contribuyen a la obtención del trabajo de la empresa, no pueden ser asignados a un proyecto en concreto de una forma directa.

Algunos de los costes de organización son:

- Costes comerciales
- Personal de administración y RRHH
- Costes de investigación y desarrollo
- Personal de almacenes y transportes
- Alquiler de oficinas

Por otra parte, para que un proyecto sea rentable para una empresa, éste debe contar con un margen de beneficios que repercutirá en el precio final.

TOTAL COSTES DE ORGANIZACIÓN ..... 15% sobre precio final

## 20.2.9 Total costes instalación en siguientes estaciones

En la siguiente tabla se representa el coste total de la instalación en la segunda estación y siguientes.

	Precio / Hora (€)	Horas / día	Numero personas	días	Valor
<b>Material</b>					300.000 €
<b>Transporte</b>					80.000 €
<b>Instalación Mano de Obra</b>	22	4	30	100	264.000 €
<b>Diseño Resto Estaciones</b>	50	8	6	60	144.000 €
<b>Desplazamiento</b>					80.000 €
<b>Repuestos</b>					20.500 €
<b>Impuestos</b>					30.000 €
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>878.500 €</b>
<b>Costes Organización</b>					131.775 €
<b>PRECIO FINAL</b>					<b>1.010.275 €</b>

Tabla 6: Costes resto estaciones

## 21 CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo de los objetivos propuestos en el capítulo 2, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Para aportar una solución mecánica correcta hay que tener en cuenta que no todas las estaciones existentes tienen el andén adecuado para realizar la instalación. Estructuralmente es importante realizar un estudio previo que determine la necesidad de colocar un refuerzo para que soporte todo el peso de la estructura, ya que la mayoría de plataformas terminan en un pequeño voladizo que no sería capaz de aguantar la carga extra que se le aplica.

Además, debido a la vida útil programada (aproximadamente de unos 30 años) de los equipos, resulta indispensable la realización de una serie de pruebas de fatiga que corrobore el buen diseño de la estructura. En este sentido es importante destacar la presión que las puertas de andén deben soportar presiones elevadas, tanto en la entrada de los trenes en la estación como en posibles avalanchas o acumulación excesiva de pasajeros. Mediante este tipo de pruebas, se garantiza por tanto la seguridad de los usuarios durante el funcionamiento de las puertas de andén.

- El interfaz eléctrico diseñado entre el sistema CBTC y el sistema de puertas de andén garantiza el correcto funcionamiento incluso bajo situaciones degradadas. Está diseñado a modo de prueba de fallos gracias a un diseño pensado para obtener la categoría de seguridad SIL 3.

Esto se consigue gracias a la identificación de las situaciones de seguridad y a la separación de las señales en interfaz vital e interfaz no vital y a la configuración de “fallo seguro” y el uso de la redundancia en las señales vitales, garantizando ante todo un comportamiento adecuado en caso de fallos del sistema.

Utilizar una tensión baja de 24 V en corriente continua para el control de las puertas y para las zonas de acceso eléctrico, garantiza que la posible descarga que puede sufrir un usuario o un operario no supondría ningún riesgo para la salud.

El uso del interfaz no vital sobre una pasarela de datos, permite el intercambio de mucha información, que incluye el diagnóstico individual de cada una de las puertas por separado.

- Mediante la propuesta de montaje realizada, se consigue minimizar el tiempo de instalación, al tratarse de un sistema modular, con el que además de rapidez se consigue un aprendizaje a medida que se van instalando los diferentes módulos.

Se minimiza el impacto al usuario ya que los trabajos se realizan mediante horario nocturno y los materiales no se acumulan en la estación, sino que se transportan desde el propio depósito mediante una dresina.

- Incluir un dispositivo de protección contra sobretensiones garantiza que los pasajeros no sufran riesgos por choques eléctricos en el posible caso de cerrar el circuito existente entre el tren y la estructura de las puertas de andén.
- Mediante el método de integración propuesto se consigue minimizar el número de cambio de software necesario en el sistema CBTC para incluir la funcionalidad de las puertas de andén, ya que sólo es necesario un único cambio de software.

Es un método sencillo y rápido que reduce los costes y agiliza las pruebas necesarias para la validación del sistema.

Además, se evitan molestias al operador del puesto de control al evitar el envío de falsas señales de alarma.

- El sistema Auxiliar Backup permite la operación de una forma independiente al sistema de señalización CBTC, lo que resulta interesante para separar el proyecto de instalación de sistema CBTC en caso de no existir, del de instalación de puertas de andén, además de servir como apoyo en caso de fallos en el sistema de señalización.

Además, resulta una propuesta interesante para instalar las puertas de andén bajo un sistema ATP convencionales.

- Mediante el análisis de los costes, la principal conclusión que obtenemos es que es un sistema muy caro para líneas ya existentes, y que puede llegar a ser más rentable en el caso de líneas nuevas.

Un sistema como el propuesto está más orientado a la implementación bajo sistemas UTO sin conductor, y permitir un flujo mucho más constante de trenes, lo que supone un ahorro pequeño en personal, pero que evita posibles pérdidas debidas a huelgas de maquinistas.

En lugares en el que el gasto por climatización sea muy elevado, como por ejemplo en los países de Oriente Medio, supone un importante ahorro energético en el caso de instalar puertas de andén completas (desde el suelo hasta el techo) ya que se separa la climatización de la estación de la zona de la vía.

No obstante, resultan un buen lugar para poder amortizar la instalación mediante la introducción de publicidad, ya que es un lugar de elevado tránsito de personas.

Además de las conclusiones mencionadas encontramos una serie de ventajas y de inconvenientes:

- Ventajas:
  - Se eliminan los arrollamientos, lo que supone un importante impacto en la seguridad de los usuarios y la principal ventaja del sistema.
  - Se consigue una operación de los trenes mucho más estable.
  - Aportan una seguridad a todos los usuarios, ya que impiden el acceso a las vías.
  - Proporcionan una sensación de seguridad a los pasajeros, al sentirse más seguros ante eventuales aglomeraciones.
  - En estructuras de puertas completas, suponen un gran ahorro energético al estar separada la climatización de la estación de la zona de las vías.
  - Suponen un requisito indispensable para la operación UTO sin conductor.
- Inconvenientes:
  - Tienen un coste muy elevado
  - Los trabajos suponen un impacto a los usuarios, ya que se están realizando trabajos de obra en lugares de gran tránsito de personas.
  - No se pueden instalar en todas las estaciones, ya que se requiere un determinado espacio, lo que hace imposible la instalación en estaciones pequeñas con andenes estrechos.

- 
- Pueden dar a los usuarios una sensación de claustrofobia.

## 22 BIBLIOGRAFÍA

Ref.	Documento
[1]	<a href="https://en.wikipedia.org/">https://en.wikipedia.org/</a>
[2]	<a href="http://www.anden1.es/estudios-e-informes/sistemas-de-puertas-de-anden/">http://www.anden1.es/estudios-e-informes/sistemas-de-puertas-de-anden/</a>
[3]	<a href="http://www.ferropedia.es/">http://www.ferropedia.es/</a>
[4]	<a href="http://www.faiveleytransport.com/">http://www.faiveleytransport.com/</a>
[5]	<a href="http://www.metroaut.es/2.-%20D.%20Pascal%20Canicatti%20(%20Faiveley%20Transport).pdf">http://www.metroaut.es/2.-%20D.%20Pascal%20Canicatti%20(%20Faiveley%20Transport).pdf</a>
[6]	Urban Railways and the Civil Engineer: Proceedings of a Conference Organized by the Institution of Civil Engineers and Held in London, 30 September-2 October 1987 Autor: Thomas Telford, 1987
[7]	Ingeniería ferroviaria. Segunda edición actualizada y ampliada Autor: Francisco Javier GONZÁLEZ FERNÁNDEZ Editorial UNED, 2010
[8]	<a href="http://www.hortondoors.com/">http://www.hortondoors.com/</a>
[9]	Los sistemas de señalización en el ferrocarril: su evolución <a href="https://www.icaei.es">https://www.icaei.es</a>
[10]	Elementos Técnicos para la Gestión de Frecuencias en Espacios Complejos: Entornos Ferroviarios Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación
[11]	Máxima seguridad en los andenes del metro de Barcelona <a href="https://industrial.omron.es/es/news/news/ib-corporate-metro-bcn">https://industrial.omron.es/es/news/news/ib-corporate-metro-bcn</a>
[12]	Norma UNE-EN 179:2009. Herrajes para la edificación. Dispositivos de emergencia accionados por una manilla o un pulsador para recorridos de evacuación. Requisitos y métodos de ensayo.
[13]	Norma UNE-EN 12600:2003 Vidrio para la edificación. Ensayo pendular. Método de ensayo al impacto y clasificación de vidrio plano
[14]	Norma UNE-EN 62061:2005 Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de mando eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relativos a la seguridad.

Ref.	Documento
[15]	Ajustes y Tolerancias mecánicas. Pequeñas charlas para el montaje industrial. Fernando Esponisoa Fuentes. <a href="http://campuscurico.usalca.cl/~fespino/Ajustes%20y%20tolerancias%20mecanicas.pdf">http://campuscurico.usalca.cl/~fespino/Ajustes%20y%20tolerancias%20mecanicas.pdf</a>
[16]	NTP 400: Corriente eléctrica: efectos al atravesar el organismo humano Instituto de seguridad e higiene en el trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.